

Implementación de un aerogenerador de 200 W para la iluminación de un apartamento unifamiliar localizado en la localidad de Usme en Bogotá

Implementation of a 200 W wind turbine for lighting up an apartment located in the locality of Usme in Bogotá

Cristian A. Granados C.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
cagranadosc@correo.udistrital.edu.co

Edgar E. Londoño M.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
eelondonom@correo.udistrital.edu.co

Este artículo detalla el diseño y la instalación de un aerogenerador de 200 W para la iluminación de un inmueble que consta de cinco compartimentos. Para la implementación se opta por re-diseñar y construir el dispositivo antecesor que incluye un sistema tri-pala cuyo estándar aeronáutico es NACA 4412, un amplificador de velocidad y una veleta. Posteriormente, se implementa todo el sistema eléctrico que está compuesto por un generador de imanes permanentes, un sistema de acondicionamiento de señal, un sistema de control y un sistema de acumulación de energía. Finalmente, se realiza un estudio de iluminación donde se elige la luminaria apropiada y las condiciones de iluminación favorables y óptimas para el inmueble según RETILAP.

Palabras clave: Aerogenerador, iluminación, regulación

This paper details the design and installation of a 200 W wind turbine for the illumination of a property, consisting of five compartments. For the implementation is chosen redesign and building a predecessor device that including an NACA 4412 tree helix, a speed multiplier and a rudder vane. Subsequently, is implemented the electric system comprises a permanent magnet generator, a system signal conditioning, a control system and a system of energy storage. Finally, a lighting study is done, where appropriate luminary is chosen and favorable lighting for optimal conditions for the property according to RETILAP.

Keywords: Lighting, regulation, wind turbine

Tipología del artículo: Investigación

Fecha recepción del manuscrito: Octubre 10, 2014

Fecha aceptación del manuscrito: Noviembre 3, 2014

Investigación financiada por: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Edición digital: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/tekhne/issue/view/748>

Cómo citar: Granados, C. y Londoño, E. (2015). *Implementación de un aerogenerador de 200 W para la iluminación de un apartamento unifamiliar localizado en la localidad de Usme en Bogotá*. Revista Tekhnê, 12(1), 49-58.

Introducción

Esta investigación se centra en el desarrollo de un aerogenerador de 200 W para la iluminación de un inmueble de cinco compartimentos, con el fin de mostrar las ventajas de utilización de sistemas eólicos e impulsar el interés por el uso de fuentes de energías renovables, ya que el uso de sistemas de energía eólica no necesita control de flujo de aire de entrada, lo que disminuye su costo inicial, además de ser una de las energías renovables más amigables con el medio ambiente, ya que cuando los aerogeneradores cumplen su vida útil, su reciclaje se aproxima al 100 %, además de no generar emisiones de dióxido de carbono, entre otros beneficios que hacen de este tipo de energía renovable una de las menos contaminantes de las energías existentes para la generación de energía eléctrica.

El proceso de construcción, instalación, puesta en marcha y evaluación del aerogenerador, consta de ocho secciones en donde se explica paso a paso como se implementaron las piezas que conforman el aerogenerador, con base en sustentos teóricos y antecedentes de construcción de generadores de baja potencia o mini-eólica.

Metodología

Principalmente se definen una serie de pasos para el estudio inicial del terreno de instalación y se consideran las partes que constituyen al aerogenerador. Posteriormente se asocian estas partes para construir el mismo. La metodología etapa por etapa es la siguiente:

- Diagnóstico de las características generales de instalación del aerogenerador, consumo de energía eléctrica inicial y consideración de la torre soporte del mismo, donde se tiene en cuenta la locación del apartamento unifamiliar, velocidad del viento en la zona, medidas del apartamento y condiciones eléctricas y de iluminación en la vivienda. Finalmente, con todas las características mencionadas, se procede a construir la torre soporte del aerogenerador.

- Rediseño, réplica y construcción de las partes del aerogenerador (aspas, manzana, multiplicador, góndola, veleta). Aquí se tiene en cuenta una valoración mecánica a partir de una base teórica de las partes del dispositivo antecesor, y finalmente se definen las mejoras de diseño para el nuevo dispositivo (re-diseño, replica y construcción de las partes del dispositivo antecesor), sin modificar el tipo de aerogenerador (tripala).

- Generador de inducción *generador síncrono*. Se define el tipo de generador a utilizar a partir de una base teórica de generadores destinados a sistemas de carga de baterías y a mini-eólica (aerogeneradores de baja escala). Finalmente se diseña y construye un generador de imanes permanentes a partir de un alternador de automóvil.

- Acondicionamiento de la señal de salida del generador AC-DC-AC. En este segmento se establecen las etapas de

la señal de salida del generador (AC), rectificador de onda completa (DC), sistema de acumulación de energía a partir de baterías (DC). Finalmente se establece el inversor (AC), para el consumo final. Así mismo se definen las características eléctricas las partes asociadas para que haya compatibilidad en todo el sistema.

- Simulación de características lumínicas con las acciones correctivas propuestas (nuevas tecnologías de iluminación) para el apartamento unifamiliar (software dialux). Este ítem se encuentra directamente relacionado con el primero, ya que se establecen las mejoras en el sistema de iluminación, junto con una simulación que debe estar sujeta a los estándares propuestos por la norma RETILAP.

- Finalmente, se unifican las partes que componen al aerogenerador y se define una ficha técnica del mismo junto con una relación beneficio-costo, donde se tienen en cuenta ahorros de energía eléctrica y un factor de crecimiento del costo de la energía eléctrica, para calcular dicha relación.

Resultados y análisis de datos

Diagnóstico general de instalación

Velocidad del viento en la zona. La velocidad del viento en la zona es de aproximadamente 5.4 m/s según (Díaz y Romero, 2007), este dato se tomó en cuenta para la construcción del multiplicador que compone el dispositivo antecesor, a su vez se especifica que la velocidad de entrada del sistema es de 204 rpm/m. Esta medida se obtuvo de la construcción de las aspas que más adelante se evidenciará en la sección de réplica del dispositivo antecesor. La dirección del viento se especifica en la rosa de los vientos, ver Fig. 1, la veleta o timón es el encargado de direccionar el sistema (góndola).

Velocidad y dirección del viento promedio mensual [km/h]

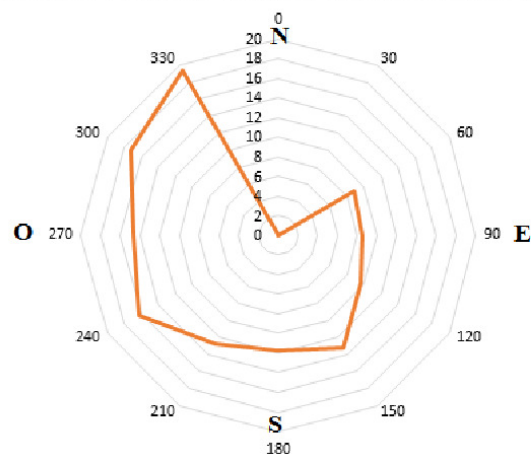


Figura 1. Rosa de los vientos promedio mensual en la Facultad Tecnológica (Universidad Distrital). Periodo 27/02/2013 - 22/08/2014 (López, 2015).

La rosa de los vientos mostrada en la Fig. 1, indica que la dirección Sur dominante es la zona suroeste.

Medidas del apartamento unifamiliar y condiciones de la instalación. Como se puede observar en la Fig. 2, el apartamento consta de cinco (5) compartimientos. Cabe destacar que este nivel del predio no cuenta con espacios comunes como baños y cocina, así que en total son cinco espacios a iluminar. El área total del inmueble es de 35,81 m². El área de cada compartimiento se describe en la tabla 1. Esta tabla define las características eléctricas y de iluminación en todos y cada uno de los compartimientos en el inmueble.

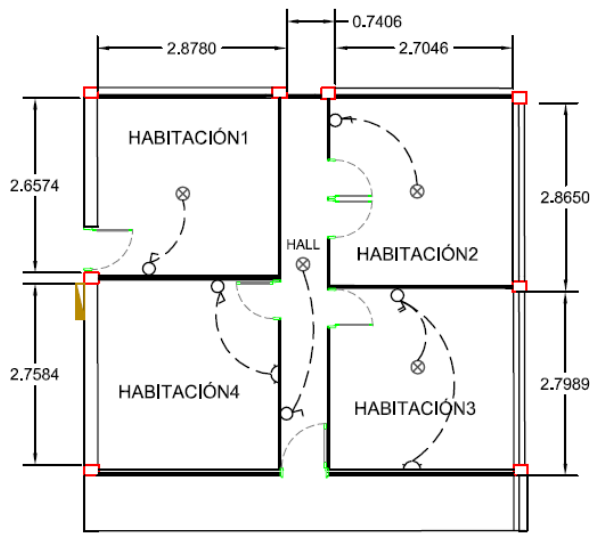


Figura 2. Imagen AutoCAD apartamento unifamiliar acotado en metros.

Características generales de iluminación. Como se puede observar en la tabla 2, se determinan las características de iluminación, como iluminancia (lux) y flujo luminoso (lúmen). La iluminancia se obtiene a partir de la relación entre lúmenes y metro cuadrado, el flujo luminoso se obtiene a partir de la información técnica de la bombilla.

Tabla 2
Iluminancia y lúmenes para cada compartimiento (en condiciones iniciales).

LOCACIÓN APARTAMENTO	ÁREA[m ²]	LÚMENES[Lm]	LUX[lm/m ²]
Habitación 1	7,6479972	860	112,4477399
Habitación 2	7,748679	860	110,9866598
Habitación 3	7,533	860	114,1643436
Habitación 4	7,9145	1720	217,3226357
HALL	4,1144	860	209,0219716
Total	34,9585762	-----	-----

Como parámetro de diseño, la tabla 3 muestra los regímenes o rangos que se deben tener en cuenta.

Comparándolos con las condiciones iniciales del inmueble en cuanto a iluminación, en cada compartimiento no excede el rango de iluminancia, pero se hace la sugerencia de disminuir la cantidad de lúmenes en la habitación 4 y en el hall se sugiere repartir la carga de iluminación, ya que por la forma alargada del compartimiento, hay zonas en las cuales no alcanza a iluminar o la iluminación es deficiente.

Demanda y capacidad de producción de energía. Mediante el análisis de los datos de la Fig. 3 y la tabla 2, se puede predecir a partir de los datos de construcción del dispositivo antecesor, la capacidad de generación del aerogenerador, ya que se parte del diseño y construcción de una turbina eólica de tres aspas construida en fibra de vidrio con un peso de 14,7 kg, 2.52 m de diámetro, 204 rpm con una velocidad del viento de 5.4 m/s. Estas características, son de una turbina de 200 W, así que se garantiza que la potencia del aerogenerador será mayor o igual a 200 W, esta potencia será determinante por el banco de baterías.

Potencia consumida Vs Hora del Día

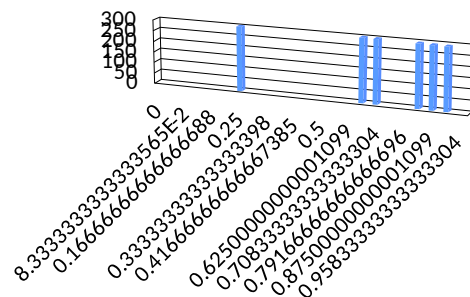


Figura 3. Representación gráfica de la potencia demandada en el periodo de un día de consumo de energía crítico de iluminación.

Mediante la representación gráfica de la Fig. 3, se puede obtener el área bajo la curva, siendo esta la energía consumida en el periodo de un día. La energía consumida en un día es 1,8 kWh.

Tipo de estructura. Analizando los tipos de estructuras que existen para esta aplicación se determina que la estructura óptima para las condiciones y recursos disponibles es la torre auto-soportada, ya que esta necesita menor área de instalación. A pesar de tener el requerimiento de *únicamente ser instaladas en terrenos cimentados* (Escudero, 2008), ver tabla 4.

Mejoras de diseño para el nuevo dispositivo

Aspas. Los parámetros de diseño a tener en cuenta se detallan en la tabla 5.

Manzana. Para la mejora del mecanismo de giro de las aspas se utiliza el ventilador de un radiador de carro ver Fig. 4, el cual tiene seis palas a las cuales se le realizan unas adaptaciones para convertir las palas del ventilador de

Tabla 1

Disposición de dispositivos instalados con sus respectivas características (en condiciones iniciales).

LOCACIÓN APARTAMENTO	LAMPARAS	Pinstalada [W]	LÚMENES [Lm]	CARACTERÍSTICA/FABRICANTE
Habitación 1	1	60	860	Incandescente/phillips
Habitación 2	1	60	860	Incandescente/phillips
Habitación 3	1	60	860	Incandescente/phillips
Habitación 4	2	120	1720	Incandescente/phillips
HALL	1	60	860	Incandescente/phillips
Total	6	360	-----	-----


Tabla 3

Características de iluminación de interiores (MinMinas, 2010).

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR _L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo.	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños.	25	100	150	200
Almacenes, bodegas.	25	100	150	200
Talleres de ensamble				
Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada	25	200	300	500
Trabajo intermedio, ensamble de motores, ensamble de carrocerías de automotores	22	300	500	750
Trabajo fino, ensamble de maquinaria electrónica y de oficina	19	500	750	1000
Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos	16	1000	1500	2000

Tabla 4

Características generales de la torre aspectos generales.

Tipo de torre	Autosoportada	
Material	Hierro	
Altura aproximada de la torre [m]	3,5	
Altura de instalación de la torre [m]	2,1	
Longitud Acople de la torre [m]	1,25	
Distancia total superficie hasta la turbina [m]	5,6	
Diámetro [cm]	25	
Área Ocupada [m ²]	0,81	
Terreno	cimentado	
Distancia Aerogenerador - caja de distribución [m]	4	

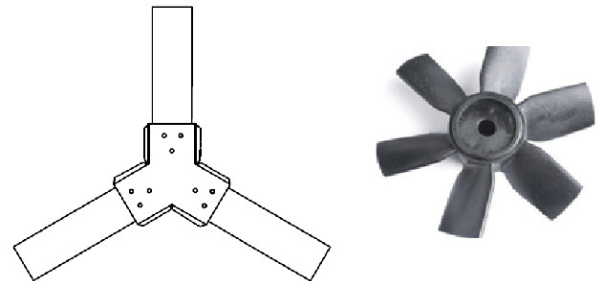


Figura 4. Adaptación de ventilador del radiador de un automóvil como manzana.

Tabla 5

Características de las aspas que componen al dispositivo antesesor.

NACA (referencia de perfil)	4412
Diámetro [m]	2,52
Longitud de aspa [m]	1,26
Fabricación	Revestimiento en fibra de vidrio Núcleo de madera

seis a tres palas, este dispositivo permite reducir las pérdidas mecánicas y proporcionar más estabilidad en el sistema mediante los rodamientos que tiene en el centro, permitiendo adaptarle las tres aspas del aerogenerador.

Multiplicador de velocidad. Para el sistema de generación se realizó un acople adecuado la parte superior de la pulidora ver Fig. 5 y por medio de la manzana anteriormente mencionada se le añadió el conjunto de aspas, caracterizando el multiplicador de la siguiente manera, con tipo de engranes hipoides como lo muestra la Fig. 5, se tiene una potencia mecánica de entrada de 200 W y velocidad de 200 rpm lo que equivale a 20,94 rad/s, así se determina el

torque motor que es una razón entre potencia mecánica de entrada y velocidad angular, que sería igual a 9,55 Nm.



Figura 5. Multiplicador de velocidad (1000 W) de engranes Hipóide con dentado recto (González, Río, Tena, y Torres, 2011).

Se necesita encontrar un amplificador con relación de transmisión aproximada a 4. La relación de transmisión se define como la relación entre las velocidades angulares, y está dada por $\omega_{salida}/\omega_{entrada}$. Se encontró en el mercado un tren de engranajes con relación a de 3,5 que se implementa en el sistema. Con esto se puede decir que la velocidad de salida se determina mediante la ecuación 1.

$$a = \frac{\omega_{salida}}{\omega_{entrada}} \quad (1)$$

$\omega_{salida} = 3,5 \times 20,94 \text{ rad/s} = 73,29 \text{ rad/s}$, lo que equivale a 699.86 rpm. Así mismo, la relación de torque se determina por la ecuación 2.

$$a = \frac{\tau_{entrada}}{\tau_{salida}} \quad (2)$$

Obteniendo un torque de salida de (ecuación 3):

$$\begin{aligned} \tau_{salida} &= \frac{\tau_{entrada}}{a} = \frac{9,55 \text{ Nm}}{3,5} \\ \tau_{salida} &= 2,728 \text{ Nm} \end{aligned} \quad (3)$$

Manteniéndose así la potencia generadora igual a 200 W.

Sistema de orientación. El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para orientar el rotor en este caso se utiliza la orientación mediante aleta estabilizadora, *Esta solución consiste en una aleta que se acopla al rotor de la eólica tal que mantiene el plano de rotación de las palas perpendicular al viento. Es una solución sencilla y de bajo coste, por eso se utiliza para aerogeneradores de baja potencia* (Hernández, 2005).

Las distancias características del sistema de orientación se pueden ver en la Fig. 6, donde:

- E : Es la distancia del centro de las palas hasta el centro de la torre, en este caso para el centro del acople de la torre auto-soportada.
- L : Es la longitud de la veleta, que va desde el centro del acople hasta el centro de la aleta orientadora.
- D : Diámetro de la circunferencia que barre la turbina.

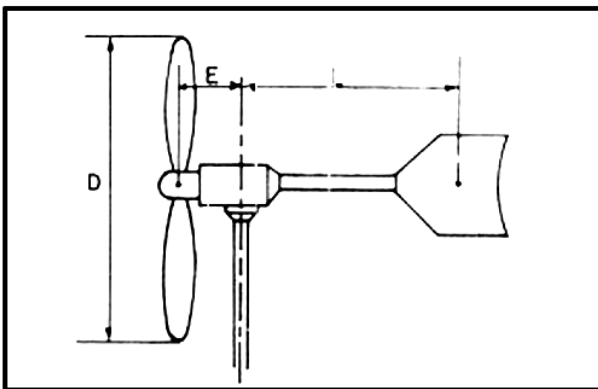


Figura 6. Orientación mediante aleta estabilizadora (Hernández, 2005).

La superficie s de la aleta debe tener, en función de A área barrida por la turbina, un valor de la superficie $s = 0,04 A$. Este valor se utiliza para una turbina tripala, entonces la superficie de la aleta es (ecuación 4):

$$\begin{aligned} s &= 0,04\pi \times r^2 \\ s &= 0,04\pi \times (1,26 \text{ m})^2 \\ s &= 0,1995 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (4)$$

En la práctica se aconseja tomar un número aproximado al diámetro de la turbina, para determinar L , en este caso se elegirá el 60 % del diámetro (Díaz y Romero, 2007). Con $D = 2,52 \text{ m}$ entonces L es (ecuación 5):

$$\begin{aligned} L &= 0,6 \times 2,52 \text{ m} \\ L &= 1,512 \text{ m} \end{aligned} \quad (5)$$

Así, E se determina como (ecuación 6):

$$E = \frac{L}{4} = \frac{1,512}{4} = 0,378 \text{ m} \quad (6)$$

Generador síncrono de imanes permanentes

Entre los generadores sincrónicos, se encuentra el generador de imanes permanentes, el cual proporciona energía limitada por la vida útil de los imanes utilizados, lo que proporciona eficiencia al sistema como se puede observar en la Fig. 7. El diagrama de flujo de potencia para un generador síncrono convencional muestra una potencia de entrada (P_{in}), de una sumatoria entre la potencia mecánica motora y la potencia que otorga el campo magnético ($V_f \times I_f$). Las flechas que no pertenecen a la línea horizontal son las pérdidas producidas por el campo magnético, pérdidas mecánicas como rozamiento (P_r), ventilación y pérdidas misceláneas (P_{st}) y las pérdidas en el cobre del estator (P_{co}).

Así la expresión que se utiliza para la potencia de entrada del generador síncrono es (ecuación 7):

$$P_{in} = \tau_s \times \omega_s + V_f \times I_f \quad (7)$$

Donde $\tau_s \times \omega_s$ es la potencia mecánica de entrada igual a 200 W. Así mismo, se puede determinar la potencia que pueden suministrar los imanes de Neodimio, a partir de un estudio de adaptación de imanes de neodimio en un alternador de automóvil (Pinilla, 2004), donde la energía se representa mediante la ecuación 8.

$$E_m = \frac{(B - H)_{max} \times V \times N}{2} \quad (8)$$

Dónde:

- E_m : Es la energía máxima producida por los imanes.
- $(B - H)$: Es el producto máximo de energía por unidad de volumen, de la curva característica densidad de flujo magnético y la intensidad de campo magnético.
- V : Es el volumen del imán usado.
- N : Es el número de imanes.

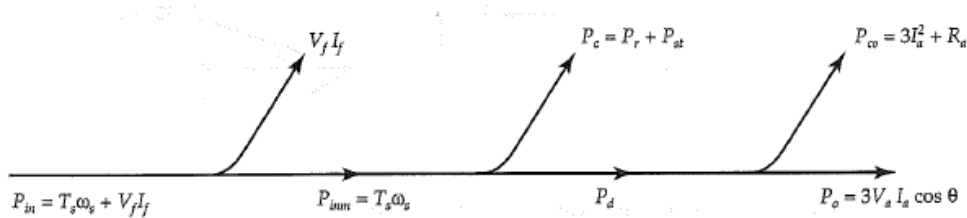


Figura 7. Diagrama flujo de potencia de un generador síncrono (Guru y Hiziroglu, 2003).

Por ende es necesario conocer la cantidad y las medidas de los imanes a utilizar y las características magnéticas (Pinilla, 2004). En la tabla 6 se muestra un imán compatible con el generador a utilizar. Además de ser compatible es genérico en el mercado.

Tabla 6
Características magnéticas y geométricas de los imanes de Neodimio.

Características Magnéticas		Características Geométricas	
Producto de (B-H)máximo	321 kJ/m ³	Material	Tierras Raras(Neodimio)
Remanencia	11400 – 12000Gauss	Longitud	46mm
Temperatura de Curie	120 °C	Espesor	10mm
Densidad	7.5 kg/m ³	Ancho	21mm
Fuerza Campo Coercitivo	930kA/m	Cantidad	6

De esta manera se puede dar solución a la ecuación 8, siendo así la energía producida (ecuación 9):

$$E_m = \frac{321 \text{ kJ/m}^3 \times 46 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 21 \text{ mm} \times 6}{2} = 9,3 \text{ J} \quad (9)$$

La tabla 7, representa la potencia emitida por el campo magnético de los imanes localizados en el rotor.

Tabla 7
Parámetros técnicos de potencia con cambios de velocidad en el rango de utilización.

Em[J]	n [rpm]	w[rad/s]	P f [W]	PIn [W]	Pout[W]
9,30	200	20,94395102	194,8327799	394,83278	256,641307
P mecánica [W]	250	26,17993878	243,5409749	443,54097	288,301634
	300	31,41592654	292,2491699	492,24917	319,96196
200	350	36,65191429	340,9573649	540,95736	351,622287
	400	41,88790205	389,6655598	589,66556	383,282614
"Eficiencia"	450	47,1238898	438,3737548	638,37375	414,942941
	500	52,35987756	487,0819498	687,08195	446,603267
65%	550	57,59586532	535,7901448	735,79014	478,263594
	600	62,83185307	584,4983397	784,49834	509,923921
650	650	68,06784083	633,2065347	833,20653	541,584248
	700	73,30382858	681,9147297	881,91473	573,244574
750	750	78,53981634	730,6229247	930,62292	604,904901

La potencia de campo (P_f) resulta de multiplicar la energía resultante por la velocidad angular a la cual se encontrará girando, en el rango de multiplicación, que se encuentra aproximadamente entre 200 rpm y 700 rpm, ver tabla 7. La potencia de entrada se determina a partir de la ecuación 7.

La potencia de salida se determina a partir de la ecuación 10 y la eficiencia n se determina a partir de la Fig. 8.

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (10)$$

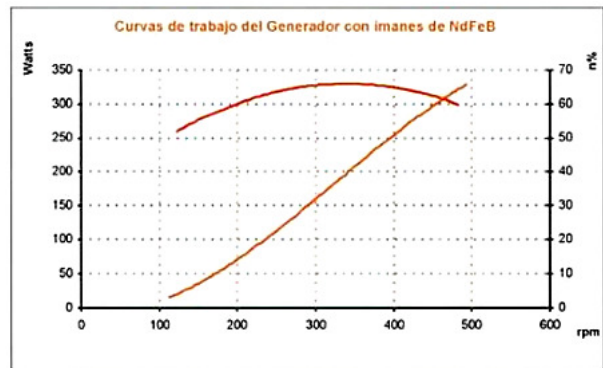


Figura 8. Curva característica de un generador con imanes permanentes de Neodimio (Chiroque, 2008).

Como era de esperarse, la potencia eléctrica de salida del generador es directamente proporcional a la velocidad. En el rango de 200 rpm a 700 rpm, la potencia crecerá de manera lineal (Fig. 9), el limitante de velocidad se dará en la cual la corriente generada supere la corriente nominal del alternador, de aproximadamente 65 A, con una tensión referencial de 14 V (véase tabla 8), tensión proporcionada por la batería. Se puede determinar que la potencia límite de generación será aproximadamente 780 W, de esta manera se supera el límite del rango de velocidad.

Tabla 8
Características eléctricas del alternador utilizado (Bosh, 2010).

Marca del alternador	Bosch
Automóvil de aplicación	Ford F-350
Tensión Nominal[v]	12
Corriente Nominal [A]	65
Polos	16

Obtención del generador de acuerdo a las necesidades y recursos disponibles. Para la obtención del generador de imanes permanentes se opta por la modificación de un

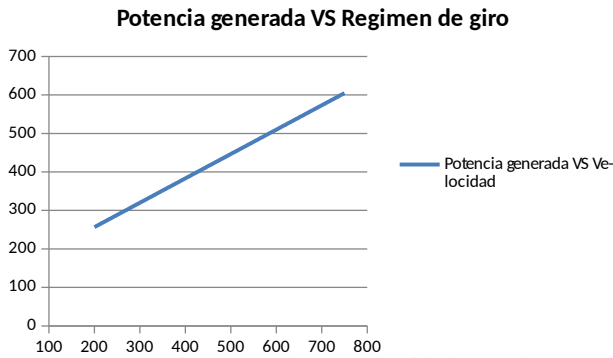


Figura 9. Potencia generada vs velocidad en el rotor del generador (zona lineal).

alternador de automóvil (ver Fig. 10) cuyas características se muestran en la tabla 8.

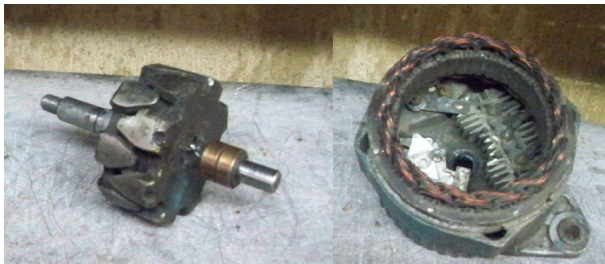


Figura 10. Alternador de automóvil usado para la generación.

Las modificaciones que se realizan para obtener a partir de un alternador sincrónico convencional un generador de imanes permanentes, se basan en la modificación del rotor del mismo, donde se extraerá el devanado del inducido del generador y se le añadirán 6 (seis) imanes de neodimio grado 45. El generador está compuesto por (dieciséis) 16 polos, cómo se puede observar en la tabla 8. Estos polos, serán producidos por medio de la excitación propia que proporcionan los imanes. La cantidad de imanes está dispuesta por las características mecánicas del rotor, las medidas de los mismo y por economía.

Acondicionamiento de la señal de salida del generador AC-DC-AC

Rectificador de onda completa. En la Fig. 11 se puede observar la configuración de diodos que se utiliza para convertirla corriente de alterna a continua. Esta señal se deja disponible para alimentar el sistema de almacenamiento de energía, para posteriormente satisfacer valores de tensión y frecuencia mediante un inversor de tensión. Para el generador se sustituye el rectificador de onda completa trifásico por uno monofásico de 50 A. Así mismo, el conexionado de los devanados se modifica en conexión aditiva en serie.

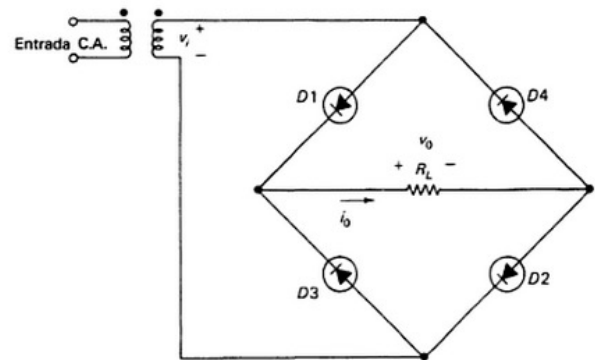


Figura 11. Puente rectificador de onda completa (Puente wheatstone) (Cirovic, 1995).

Controlador de carga de baterías. Se elige el multivibrador 555 en configuración astable, que opera como controlador de tensión. Este opera como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9
Estado de salida a partir de la variación de tensión (Coughlin y Driscoll, 1999).

Estado de operación	Terminal 2 de disparo	Terminal 6 de umbral	Estado de terminales	
			Salida 3	Descarga 7
A	Abajo de V_{LT}	Abajo de V_{LT}	Alto	Abierto
B	Abajo de V_{LT}	Arriba de V_{LT}	Alto	Abierto
C	Arriba de V_{LT}	Abajo de V_{LT}	Recuerda el último estado	
D	Arriba de V_{LT}	Arriba de V_{LT}	Bajo	Tierra

En la Fig. 12 se detalla la configuración y evaluación por simulación del regulador de tensión. Se opta por implementar el diseño, donde incluyen en el circuito valores nominales y accesorios que facilitan la puesta en marcha del controlador de carga de baterías.

Banco de acumuladores. Para la inclusión del banco de acumuladores se opta por elegir una única batería cuyas especificaciones se muestran en la tabla 10, teniendo en cuenta el factor de utilización y la potencia de la carga que se alimentará.

Tabla 10
Tiempo de carga y descarga de la batería con suministro máximo de potencia a la carga.

Batería	Potencia Máxima de entrega a la carga		
Tensión nominal [V]	12	I min a t Máx [A]	1,8
Horas de uso máx. [h]	20	Energía suministrada [Wh]	432
A-h	36	P carga a I Máx de desc[W]	132
I Máx de descarga [A]	11	Tiempo de descarga [h]	3,27272727
I Máx de carga [A]	13,5	P carga a I Máx de carga [W]	162
Tensión de Carga típica [V]	14,5	Tiempo de carga [h]	2,66666667
Material	Plomo y Acido		

Como se puede observar en Fig. 3, el intervalo de las 18 a las 20 horas, las baterías se estarán cargando por un periodo de 2 horas. En este tiempo no estará consumiendo energía

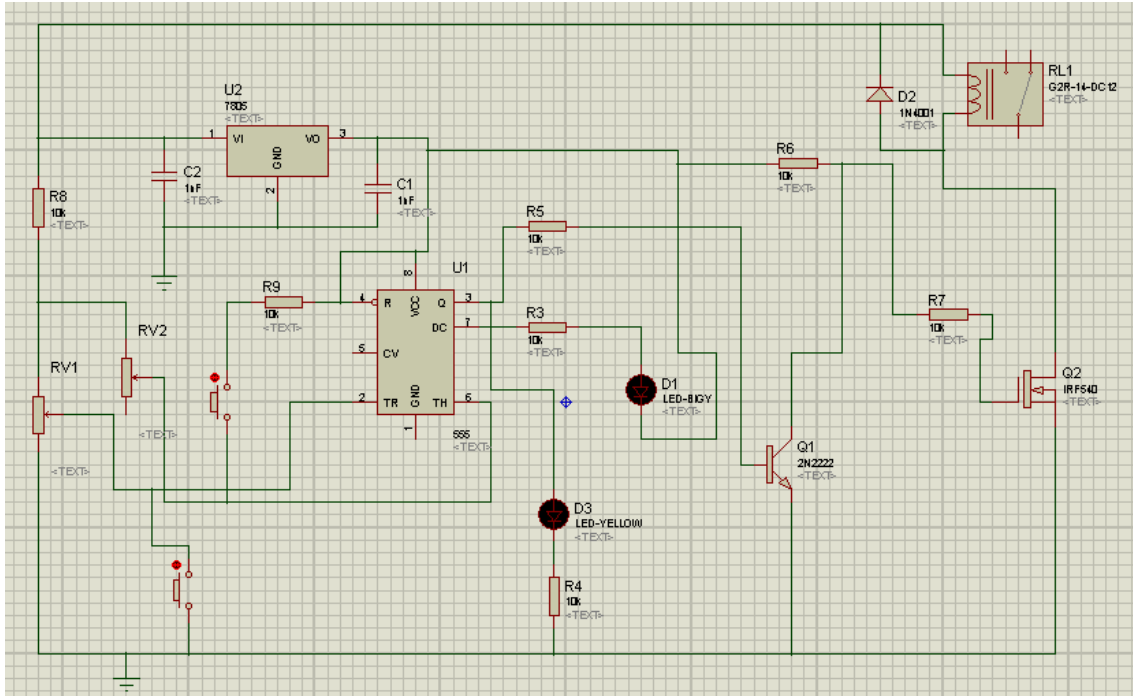


Figura 12. Simulación del controlador de carga software ISIS Proteus 7.7.

alguna por la carga. Entonces, como se puede determinar en la tabla 10 (potencia máxima de entrega a la carga), así el tiempo necesario para la carga de la batería no se cumpla, el suministro de energía se dará sin interrupciones. Teniendo en cuenta que el tiempo de carga de aproximadamente 2,66 h, se relaciona con un suministro de 162 W de potencia activa, mayor potencia a la requerida por la carga.

La tabla 11 muestra la potencia máxima que puede suministrar la batería cargada totalmente para cada intervalo.

Tabla 11
Corriente y potencia activa máxima Generada por la batería para cada intervalo de tiempo de uso cargada totalmente.

CONCEPTO	Corriente máxima [A]	Potencia máxima [W]
Intervalo 1 Hora	36	432
Intervalo 2 Horas	18	216
Intervalo 3 Horas	12	144

Inversor de tensión. Teniendo en cuenta que el inversor debe soportar una potencia mayor a 200 W, en el mercado se encuentra un inversor con las siguientes especificaciones (tabla 12).

Ficha Técnica del aerogenerador

En la tabla 13 se puede observar la ficha técnica del aerogenerador, donde se presentan las características mecánicas y eléctricas del mismo.

Sobre el diseño final se realiza un estudio beneficio-coste de la inversión en el aerogenerador, y un estudio de

Tabla 12
Inversor de corriente implementado en el sistema de generación.

Tipo de salida:	Doble
Potencia de salida:	600-7000W
Nombre de la marca:	Cobra
Tamaño:	260*165*85mm
Voltaje de entrada:	12V DC
Voltaje de salida:	110V AC
Frecuencia de salida:	60Hz
Peso:	3kg
Potencia continua	600W
Pico de potencia	1000W
Eficiencia:	>85%
Material de la carcasa	Aluminio
Estado	Usado

iluminación donde se considera el tipo de luminaria eficiente en el sistema a partir de simulaciones en DIALUX.

Conclusiones

La energía eólica es un recurso que a grandes rasgos podrá suplir las energías no renovables, claro está que con mayor infraestructura.

Con respecto al generador de imanes permanentes, la adaptación que se realizó consta de la inclusión de imanes a las caras magnéticas del rotor, sin interferir en la construcción del mismo, conservando el número de polos del generador y a su vez manteniendo el torque de arranque que

Tabla 13

Ficha técnica del aerogenerador.

Número de hélices	3
Material hélices	Fibra de vidrio con resinas epoxicas nucleo de madera
Generador	600 rpm 16 polos imanes de nodimio
Potencia	780 W
Potencia nominal curva	500 W
Voltaje	12 V
Sentido de giro	Horario
Área Barrida	4,98 m ²
Peso	120 kg
Aplicaciones	Conexiones Aisladas a Baterías, excedentes de energia para calentador de agua.
Viento para arrancar	2 m/s
Velocidad nominal	5 m/s
Rango de generación	De 5 a 40 m/s
Supervivencia	60 m/s
Tipo	Rotor horizontal a barlovento
Orientación	Timón de Orientación o veleta
Transmisión	Caja multiplicadora factor 3,5 engranage hipoide con cardán de 90 cm
Regulador de carga	A nivel de tensión de la batería. 480 V
Inversor	Eficiencia 85 % tensión 12 VDC/110 VAC
Protección anti-corrosión	Resinas epoxicas, acabado en anticorrosivo
Vida útil	Más de 20 años
Torre	5,6 m autosoportada desarmable, equipo eléctrico facil mantenimiento



es determinante para velocidades bajas. Teniendo en cuenta el devanado del estator, se conserva el calibre del mismo, ya que según los fabricantes este calibre es característico para la carga de baterías y con respecto a la conexión del bobinado se cambia la conexión en estrella, por una conexión serie de los tres devanados, debido a que esta conexión tiene la característica de generar más tensión que la conexión trifásica en estrella.

Teniendo en cuenta el cambio de conexión del generador de trifásico en estrella a monofásico, el nuevo rectificador de onda completa se cambia de trifásico a monofásico, con la ventaja de encontrar una gama amplia de rectificadores de onda completa monofásica en el mercado a diferencia del rectificador de onda completa trifásico que es muy escaso en el mercado.

El controlador de carga está limitado por un fusible de 40 A con el fin de proteger ante sobre corrientes el mismo, se reitera que las baterías que se pueden usar deben ser de 12 voltios, ya que la entrada de tensión del inversor debe estar ente 11,9 V y 15 V aproximadamente. Se destaca el funcionamiento del controlador de carga, ya que su función

es flexible, económica y sencilla, se destaca el uso de PWM (modulación de ancho de pulso) en microcontroladores para sistemas de mayor envergadura.

Con respecto a la iluminación del inmueble la uniformidad se vio afectada en algunos compartimentos, donde se recomienda incluir más luminarias o realizar una distribución de carga en la instalación.

La relación beneficio costo muestra que a los cuatro años se recupera la inversión inicial, teniendo en cuenta que la vida útil del aerogenerador es de mínimo veinte años, los recursos monetarios que puede proveer el aerogenerador son muy grandes, además de que se incluyó una infraestructura mecánica robusta de la cual se puede aprovechar incluyendo sistemas de generación y de acumulación más robustos.

El sistema en general permite la inclusión de al menos el doble de carga existente, teniendo en cuenta la magnitud de potencia de los dispositivos existentes.

El aerogenerador no cuenta con pararrayos ni está conectado al sistema de puesta a tierra del inmueble.

Recomendaciones

Para mejorar la eficiencia del generador de imanes permanentes se sugiere añadir más cantidad de imanes en el campo del rotor, para que este pueda operar en condiciones nominales a un rango de velocidad menor y para que aumente la potencia generada.

Se recomienda incluir protecciones térmicas y magnéticas para la seguridad del sistema implementado.

Se recomienda optimizar el controlador de carga, utilizando moduladores de ancho de pulso o hacer uso de controladores programables, con el fin de proporcionar confiabilidad al sistema.

Las baterías tienen una vida útil de aproximadamente tres años, así que esta se convierte en una de las pocas desventajas del sistema realizado. Se recomienda cambiar la batería cada tres años.

Teniendo en cuenta que el sistema en general permite la inclusión de al menos el doble de carga existente, se recomienda ampliar la instalación alimentada por el aerogenerador, para que este pueda ofrecer mayor rendimiento.

Se recomienda incluir un freno mecánico para proteger el sistema ante altas velocidades.

Se debe incluir un sistema de carga adicional para la entrega de excedentes de energía eléctrica, propuesto como una resistencia para calentar agua.

Se recomienda incluir pararrayos y conectar el aerogenerador al sistema de puesta a tierra del inmueble.

Referencias

Bosh. (2010). *Marchas, alternadores y componentes*. (Bosch Autopartes)

- Chiroque, J. (2008). *Microaerogenerador it-pe-100 para electrificación rural*. Soluciones Prácticas ITDG. (Serie Manuales N. 34)
- Cirovic, M. (1995). *Electrónica fundamental: dispositivos, circuitos y sistemas*. Reverte.
- Coughlin, R., y Driscoll, F. (1999). *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. Prentice Hall.
- Díaz, C., y Romero, J. (2007). *Diseño y construcción de un sistema amplificador de velocidad y una base para soportar un aerogenerador de tres aspas de 200 vatios*. (Universidad Distrital Francisco José de Caldas)
- Escudero, J. (2008). *Manual de energía eólica* (2.ª ed.). Mundi-Prensa Libros.
- González, T., Río, G., Tena, J., y Torres, B. (2011). *Circuitos de fluidos. suspensión y dirección*. S.A. Editex.
- Guru, B., y Hiziroglu, H. (2003). *Máquinas eléctricas y transformadores* (3.ª ed.). Universidad Iberoamericana.
- Hernández, J. (2005). *Diseño de un aerogenerador de baja potencia*. (Polytechnic University of Catalonia)
- López, G. (2015). *Análisis de datos de la estación meteorológica PEGASUS de la facultad tecnológica de la universidad distrital*. (Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas - Grupo GIEAUD)
- MinMinas. (2010). *Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP*. (Ministerio de Minas y Energía)
- Pinilla, A. (2004). *Adaptación de un generador eléctrico de imanes permanentes y flujo radial*. (Universidad De Los Andes)

