

“INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA, DE DETALLE Y CONSTRUCTIVA DE UN AEROGENERADOR PROTOTIPO CLASE SAVONIUS DE 2KW”

Arguello Barrera Esteban Gabriel

Boada Monge Miguel Ángel

Guasumba Codena José

**est_d_s@hotmail.com, boadamiguel@hotmail.com,
jguasumba@espe.edu.ec**

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Sangolquí-Ecuador

RESUMEN

El presente proyecto comprende el desarrollo de un aerogenerador Savonius de eje vertical, que dispone de un área de barrido de 1,22 m x 2,44 m, para producir 500 We a partir de una potencia del viento superior a 2000 W. este dispositivo puede ser aprovechado con velocidades del viento que sobrepasan los 2,00 m/s, de acuerdo con el estado del arte actual. La estructura del equipo lo conforman álabes y volantes de inercia, construidos en material aluminio utilizando la geometría de forma cóncava/convexa, la misma que en su interior existe un espacio vacío para que pueda ser evacuado el aire que golpea al aerogenerador.

Durante los ensayos realizados en Checa se consiguieron velocidades de viento de máximo 4 m/s, mientras que en el sector del Arenal, Provincia de Chimborazo, el recurso eólico suministraba velocidades del viento superiores a los 15 m/s para realizar el ensayo se tomó como

referencia la segunda opción, llegándose a obtener potencias de 750 We inferior al rango de sobrecarga del aerogenerador. Se espera que con esta investigación, se logre en un futuro cercano proponer el desarrollo de modelos de utilidad con capacidades de 500 a 1000 We para abastecer a comunidades localizadas en sitios marginales de los páramos de la serranía.

Palabras claves

- Savonius
- Velocidad de viento
- Límite de Betz
- Energía eólica
- Chimborazo

1.- INTRODUCCION

El proyecto de diseño y construcción de aerogenerador tipo Savonius de eje vertical que permita aprovechar una potencia del viento de 2 KW, para

producir una potencia nominal de 500 We, tiene un planteamiento de análisis y estudio que comprende lo siguiente:

En el capítulo 1 se explican los temas relacionados con el uso de este tipo de tecnologías para la generación de electricidad, considerando los antecedentes relacionados al proyecto, la definición del problema, el señalamiento de objetivos, así como también la justificación e importancia del uso de las energías renovables.

el capítulo 2 se explica lo correspondiente a las aplicaciones de la energía eólica, su evolución tecnológica, la misma que tuvo relevancia de trascendencia mundial a partir de la crisis petrolera ocurrida en el año 1972. Además, es importante indicar las ventajas y desventajas de la utilización del recurso eólico, las mismas que pueden ser de carácter ambiental, social, técnico y tecnológico; cuyos temas deben ser abordados, de manera especial por los expertos que realizan este tipo de implementaciones, tomando en cuenta que estas nuevas tecnologías deben ocasionar el menor impacto en la cultura, historia y el ambiente circundante de los sitios de instalación de los aerogeneradores. En este marco teórico también se explican la clasificación y los tipos de aerogeneradores existentes en la actualidad.

En el capítulo 3 se realiza el diseño mecánico, la selección del generador eléctrico utilizando técnicas y modelos matemáticos existentes para el desarrollo de este tipo de tecnologías. En el capítulo 4 se describe el proceso de construcción y montaje del aerogenerador, para continuar luego en el análisis de los parámetros de pruebas, el levantamiento de datos y el análisis de resultados descritos en el capítulo 5.

Este proyecto se concluye con el análisis económico financiero para identificar los recursos que se requiere para las etapas de: investigación de campo, bibliográfica, adquisición de materiales locales, importación de componentes, mano de obra, gastos de fabricación y montaje, siendo estos rubros definidos en los costos directos e indirectos con los cuales se establece el presupuesto de inversión requerido para la ejecución del proyecto. Para finalizar se explica las conclusiones, recomendaciones y propuestas de trabajo futuro.

En la actualidad en el área de fundición de las industrias metalúrgicas, la utilización de ladrillos refractarios para el funcionamiento de los hornos tanto de crisol como de cubilote, ha ido creciendo, por lo que los mismos son importados de países como Colombia, Argentina, debido a que en el país no se elaboran este tipo de productos.

En el proceso de fundición el ladrillo refractario constituye uno de los elementos principales, motivo por el cual se busca obtener un producto de similares características a los exportados de otros países, eliminando de esta manera los costos de adquisición del mismo. Después de haber realizado los estudios técnicos pertinentes, se ha elaborado un ladrillo refractario que posee propiedades físico-mecánicas adecuadas y que están bajo parámetro de las normas INEN, alcanzando de este modo una rentabilidad económica.

2.- MARCO TEÓRICO

2.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables; ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Clasificación

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras:

- La llegada de masas de agua dulce a masas de agua salada: energía azul.
- El viento: energía eólica.
- El calor de la Tierra: energía geotérmica.
- Los ríos y corrientes de agua dulce: energía hidráulica o hidroeléctrica.
- Los mares y océanos: energía mareomotriz.
- El Sol: energía solar.
- Las olas: energía undimotriz.
- Biomasa y Biocombustibles.

2.1.1 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es la energía cinética que se crea a través de una masa de aire en movimiento, esto se debe a la acción del sol que crea diferencias de temperatura al calentar el aire en la atmósfera terrestre originando así corrientes ascendentes y descendentes, las mismas que hacen que el aire circule sobre la superficie de la tierra.

Historia y Evolución

El hombre usa la energía del viento por primera vez en Egipto, aproximadamente en el año 3000 AC, este lo utilizó para propulsar barcos de vela. En el año 200 AC Hammurabi usaba molinos de viento para irrigación. Los primeros molinos conocidos son los de Seistan, del siglo VII. En el año 1400, el papa Celestino III reclama la propiedad del viento: los molinos pueden usarlo pagando cuota. En 1854 Halladay introduce un molino de viento ligero, barato, que se erige como uno de los símbolos de las granjas americanas. En 1888 Brush construye la que se cree es la primera turbina eólica para generación eléctrica, mejorada en los años siguientes por Poul La Cour.



Figura 1 Turbina eólica de Brush en Cleveland (12kW, 17 metros)

La generación de aerogeneradores de 55 kW que fueron desarrollados en 1980-1981 supuso la ruptura industrial y tecnológica para los modernos aerogeneradores.

El costo del kilovatio-hora (kWh) de electricidad cayó alrededor de un 50 por ciento con la aparición de esta nueva generación. La industria eólica se hizo mucho más profesional.

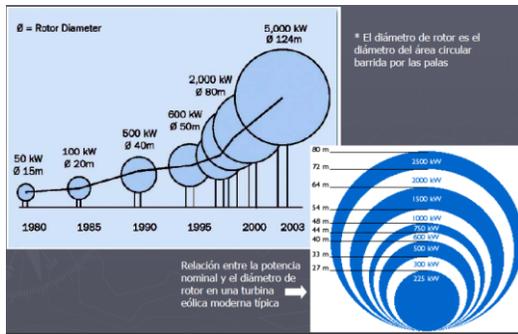


Figura 2 Evolución del tamaño de los aerogeneradores

Escala Beaufort

La escala Beaufort fue creada para expresar la fuerza del viento por un almirante irlandés llamado Francis Beaufort.

La intensidad del viento se ordena según su velocidad utilizando la escala de Beaufort. Esta escala se divide en varios tramos según sus efectos o daños causados, desde el aire en calma hasta los huracanes de categoría 5 y los tornados.

Los marinos y los meteorólogos utilizan la escala de Beaufort para indicar la velocidad del viento. Fue diseñada en 1805 por el hidrógrafo irlandés Francis Beaufort. Sus denominaciones originales fueron modificadas más tarde.

Tabla 1 Clasificación de los vientos según la escala de Beaufort

Escala de Beaufort	Velocidad del Viento (KmPh)	Velocidad del Viento (MPH)	Indicadores	Términos Usados en las Predicciones de RWFS (Servicio Meteorológico Nacional)
0	0-2	0-1	Calma; el humo sube verticalmente.	Calma
1	2-5	1-3	La dirección se puede apreciar por la dirección del humo, pero no por medio de veletas.	Ventolina
2	6-12	4-7	El viento se siente en el rostro; las hojas se mueven ligeramente; las veletas ordinarias se mueven con el viento.	Ligero
3	13-20	8-12	Las hojas y las ramas delgadas se mueven constantemente; el viento extiende las banderas ligeras.	Suave
4	21-29	13-18	Levanta polvo y papeles sueltos; las ramas pequeñas se mueven.	Moderado
5	30-39	19-24	Los árboles pequeños empiezan a balancearse; en los lagos pequeños se observan olas con crestas.	Fresco
6	40-50	25-31	Se mueven las ramas grandes; los cables telefónicos silban; es difícil usar sombrillas.	Fuerte
7	51-61	32-38	Los árboles enteros se mueven; es incómodo caminar contra el viento.	Muy Fuerte
8	62-74	39-46	Se rompen las ramas de los árboles; generalmente no se puede avanzar.	Ventarrón
9	75-87	47-54	Daños estructurales ligeros.	Ventarrón Fuerte
10	88-101	55-63	Los árboles sin amarrados de raíz ocurren daños estructurales considerables.	Temporal
11	102-116	64-72	Acompañado de daños graves generalizados.	Borrasca
12	117 o más	73 o más	Acompañado de devastación.	Huracán

Fuente:

<http://www.fabernautica.com.ar/escalabeaufort.htm>

Velocidad del viento

La velocidad del viento es una magnitud vectorial que se mide con el anemómetro y su dirección con la veleta, el vector velocidad varía tanto en módulo dirección y sentido. Se miden los valores con una frecuencia de muestreo, así, el valor representa las características medias del viento instantáneo durante este período de tiempo. Los valores medios suelen encontrarse entre 3 y 7 m/s. Sin embargo, dependiendo de la altitud y la topografía éstos pueden ser mayores o menores (valores mayores en altas montañas, valles estrechos y costas).

El tipo de gráfica utilizado para representar las características locales del viento es un diagrama polar basado en la rosa de los vientos.

Variaciones de la velocidad del viento:

a) Variaciones Estacionarias.

Debido a la distinta acción de la radiación solar, posición de anticiclones y borrascas, etc. Los vientos globales sufren diversas variaciones estacionales.

b) Variaciones diarias.

En muchas zonas se generan variaciones de carácter cíclico en el viento debido a los efectos de calentamiento o enfriamiento diurno o nocturno, la proximidad del mar o las condiciones orográficas.

c) Variaciones en periodos muy cortos (ráfagas).

La ráfaga depende de la velocidad instantánea del viento respecto al viento medio en una estimación de 10 min. Cuando la velocidad instantánea

sobrepasa en unos 5 a 8 m/s al valor el viento medio, se determina que es una ráfaga, de 8 a 15 m/s de ráfagas fuertes y si sobrepasa los 15 m/s ráfagas violentas.

Caracterización energética del viento

Para la caracterización del viento se usa la ley de densidad de probabilidad de Weibull, permite modelar la distribución de la velocidad del viento en una expresión matemática para predecir el comportamiento de la velocidad del viento a lo largo de un cierto periodo de tiempo (en general 1 año).

Los principales factores que alteran las características del viento son:

- Variación de la velocidad del viento con la altura debida a l rugosidad del terreno.
- Influencia del relieve del terreno (efecto de la orografía).
- Influencia en los obstáculos.

La distribución de Weibull tiene la expresión:

Función de densidad de probabilidad

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Función de distribución:

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Donde

c: factor de escala

k: Factor de forma

La variación del viento en un emplazamiento típico suele describirse utilizando la llamada Distribución de Weibull, como la mostrada en el dibujo. Este emplazamiento particular tiene una velocidad media del viento de 7 metros por segundo, y la forma de la curva está

determinada por un parámetro de forma de 2.

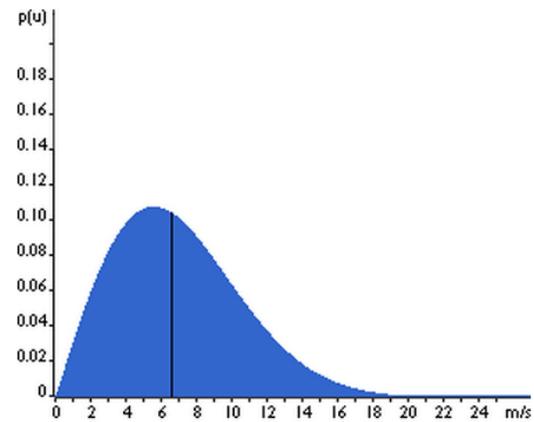


Figura 3 Distribución de Weibull

Límite de Betz

En relación a la figura 4, podemos observar un resumen del funcionamiento del tubo de corriente, se supone que en la dirección del viento hacia la hélice, el aire posee una velocidad v_1 (velocidad del viento sin perturbar) en la sección transversal A_1 , mientras que la velocidad del viento v_2 corresponde a la sección transversal A_2 desde la zona en que se encuentra la hélice.

En el plano que contiene la hélice, la sección transversal batida por la misma (área del rotor) es un disco imaginario de área A , siendo v la velocidad del viento en la misma (velocidad útil). Relacionamos la hélice a un disco de área A que absorbe parte de la energía del aire en movimiento que llega a él, es decir $v_2 < v_1$.

Sin embargo, es obvio que v_2 nunca es cero (no puede extraerse toda la energía cinética del aire).

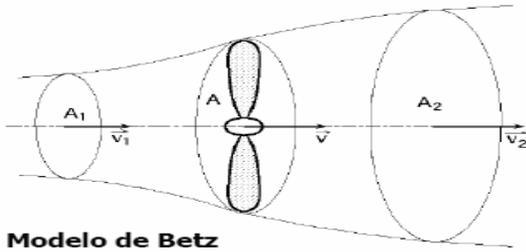


Figura 4 Modelo de Betz

El caudal másico ($Q_m = \text{densidad} \times \text{caudal} = \rho Q$) es constante (conservación de la masa), es decir:

$$Q_m = \rho Q = \rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 = \rho A v$$

(Esto explica que el tubo de corriente se ensanche tras la turbina, como $v_2 < v_1$, entonces $A_2 > A_1$)

Podemos expresar la potencia útil transferida por el viento a la turbina de dos maneras:

1.- Pérdida, por unidad de tiempo, de energía cinética del viento al pasar por la hélice:

$$\begin{aligned} P_{util} &= \frac{-\Delta E_k}{\Delta t} = \frac{E_{k1} - E_{k2}}{\Delta t} \\ &= \frac{\frac{1}{2} \rho A d (v_1^2 - v_2^2)}{\Delta t} \\ &= \frac{1}{2} \rho A d (v_1^2 - v_2^2) \end{aligned}$$

Donde hemos utilizado los argumentos y variables definidas dos transparencias atrás; en particular nótese que $v = d / \Delta t$

2.- El trabajo generado, por unidad de tiempo, por la fuerza del viento igual, por las leyes 2ª y 3ª de Newton, a menos la regulación de cambio en la cantidad de movimiento del aire al pasar por la hélice) sobre el área A:

$$\begin{aligned} P_{util} = Fv &= \frac{\rho A d (v_1 - v_2)}{\Delta t} v \\ &= \rho A v^2 (v_1 - v_2) \end{aligned}$$

Notar que, por la 3ª ley de Newton:

$$\text{Fuerza del viento} = -\text{Fuerza sobre el viento} = m(v_2 - v_1) / \Delta t = \rho A v (v_1 - v_2)$$

De las ecuaciones anteriores tenemos que:

$$\frac{1}{2} \rho A d (v_1^2 - v_2^2) = \rho A v^2 (v_1 - v_2)$$

Por tanto, recordando que $(a^2 - b^2) = (a+b)(a-b)$, que:

$$v = \frac{(v_1 + v_2)}{2}$$

Es decir, en el modelo de Betz, y para que las ecuaciones sean consistentes entre sí, la velocidad del viento en el plano de la hélice (velocidad útil) es la media de las velocidades del viento antes y después de la misma. Hagamos el cambio $v_2 = bv_1$ (sabemos, de la transparencia anterior, que $0 < bv_1 < 1$):

$$\begin{aligned} P_{util} &= \frac{1}{2} \rho A \left[\frac{v_1 + bv_1}{2} \right]^2 (v_1^2 - b^2 v_1^2) \\ &= \frac{1}{4} \rho A v_1^3 (1+b)(1-b^2) \end{aligned}$$

El valor máximo para la potencia se obtiene ahora haciendo

$$\frac{dP_{util}}{db} = 0$$

que nos deja:

$$\begin{aligned} (1 - b^2) + (1 + b)(-2b) \\ = (1 + b)(1 - 3b) = 0 \end{aligned}$$

Soluciones:

$$b = -1 \text{ (sin sentido físico)}$$

$$b = 1/3 \rightarrow v_2 = (1/3) v_1$$

v_1 De modo que la potencia máxima es (sustituyendo la solución en (2.20)):

$$P_{util} = \left[\frac{16}{27} \right] \frac{1}{2} \rho A v_1^3$$

Es decir, el coeficiente de potencia máximo (ideal) de una turbina eólica es:

$$C_p^{Betz} = \frac{16}{27} \approx 59\%$$

2.2 AEROGENERADORES

Los aerogeneradores son máquinas movidas por una turbina que producen electricidad que mediante el aprovechamiento del viento como energía cinética la transforman en energía eléctrica. Sus precedentes directos son los molinos de viento que se empleaban para la molienda y obtención de harina.

El viento es una fuente de energía limpia, sostenible que nunca se agota, y la transformación de su energía cinética en energía eléctrica no produce emisiones.

Ventajas y justificación de las eólicas de eje vertical frente a las de eje horizontal

No necesitan torre, por lo que la instalación y mantenimiento de los sistemas de generación es más sencillo, dada su poca altura respecto al suelo.

Estos aerogeneradores al tener su eje en posición vertical no necesitan orientarse hacia la dirección del viento, ya que siempre reciben el viento de forma óptima, funcionan a más bajas revoluciones, o sea a menos velocidad de giro, y además tienen el radio de giro de sus palas más pequeño.

Los aerogeneradores de eje vertical se pueden situar justo encima del suelo evitando tener que poner grandes mástiles, lo que es una ventaja.

Los aerogeneradores de eje vertical normalmente tienen un aspecto visual de menor impacto, y sus palas son menos peligrosas para las aves que las de los aerogeneradores de eje horizontal.

Cuando la eólica trabaja en una aplicación que requiere velocidad constante, no es

necesario incorporar ningún mecanismo de cambio de paso.



Figura 5 Aerogenerador Tipo SAVONIUS

3.- DISEÑO

3.1 Diseño mecánico

$$\rho := 1.25 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \text{ Densidad del aire}$$

$$D_f := 1 \text{ (m)}$$

Diámetro del disco, alrededor del 10% mayor a D Menet 2004

$$D := \frac{D_f}{1.1}$$

$$D = 0.909 \text{ (m)}$$

Diámetro de los álabes

$$a := 1.22 \text{ (m)}$$

Ancho de la plancha de aluminio

$$H_s := 2 \cdot a$$

$$H_s = 2.44 \text{ (m)}$$

Altura del par de álabes

$$\alpha := \frac{H_s}{D}$$

Relación de aspecto

$\alpha = 2.684$ Debe ser mayor a 1 para mejorar la eficiencia, (Menet, 2004)

RELACION ENTRE LA EXCENRICIDAD Y EL DIAMETRO DEL ALABE

$$ex := \frac{d}{6}$$

$$ex = 0.083 \text{ (m)}$$

Exentricidad

$$\beta := \frac{ex}{d}$$

$$\beta = 0.167$$

El rango de β es de 0 a 0.2 de acuerdo con USHIYAMA, 1988

Velocidad del viento

$$Va := 12 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Velocidad del viento

POTENCIA DEL VIENTO

$$P := \frac{\delta a \cdot As \cdot Va^3}{2}$$

$$P = 2.396 \times 10^3 \text{ (W)}$$

Potencia del viento

ANÁLISIS DE FUERZAS

$$Wer := \frac{M_{\max} FS \cdot 10^{-6} \cdot 10^9}{\sigma_{ac}} \quad \text{Velocidad}$$

$$\omega_{\text{angular}} = 26.4 \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$\mu := \omega \cdot Rc$$

$$\mu = 5.455 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Velocidad lineal de las cazoletas

FUERZA CENTRIFUGA

$$Fc := m \cdot \omega^2 \cdot Rc$$

$$Fc = 2.944 \times 10^3 \text{ (N)}$$

EL EJE PRINCIPAL

$$q := \frac{Fv}{Hs}$$

carga distribuida

MOMENTO FLECTOR MAXIMO

$$M_{\max} := 351 \text{ (Nm)}$$

$$FS := 2$$

$$\sigma_{ac} := 275 \text{ (Mpa)}$$

MODULO DE RESISTENCIA DEL EJE

Módulo resistente elástico del eje

$$Wx := 6.283 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

DETERMINACION DE LOS PESOS DE COMPONENTES

Masa de los componentes giratorios del rodete

$$Mt = 205.414 \text{ (Kg)}$$

Potencia

COEFICIENTE DE POTENCIA

$$C_{p\min} := 0.074$$

$$C_{p\max} := 0.341$$

$$C_p := 0.21$$

POTENCIA DEL AEROGENERADOR

$$Paerog = 503.084 \text{ (W)}$$

POTENCIA ELÉCTRICA

$$Pelect = 454.033 \text{ (W)}$$

Diseño de la estructura del aerogenerador

DISEÑO DE LA VIGA PRINCIPAL DE SOPORTE DEL RODETE SAVONIUS

$$g_r := 9.8 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$W_y := 4.11 \cdot 10^3 \text{ (mm}^3\text{)}$$

Diseño del amplificador de velocidad

Número de revoluciones del eje del generador eléctrico

$$D2 := \frac{N1 \cdot D1}{N2}$$

$$D2 = 0.168 \text{ (m)}$$

Diámetro de la polea de arrastre

RELACIÓN DE TRANSMISION

$$Rt := \frac{D1}{D2}$$

$$Rt = 3$$

Selección del generador eléctrico

Dado que el cálculo se lo realizó para vientos de 12 m/s, esto generará 454.033W/450 rpm; es necesario seleccionar un generador eléctrico de las siguientes características:

Potencia nominal: 500 w

Velocidad nominal del rotor: 450 rpm

Imanes permanentes de neodimio (3ph/AC)

4.- CONTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1 PROCESOS DE FABRICACIÓN

Corte:

Álabes del aerogenerador.

Volantes de inercia

Perfil cuadrado (50*50*2)

Perfil U (150*50*2)

Eje solido de Ø=40mm.

Rolado:

Con esta máquina vamos a realizar el rolado de las planchas de aluminio para poder obtener el diámetro requerido.

Perforado:

Se realiza la perforación en los volantes de inercia para los pernos de sujeción mediante un taladro vertical.

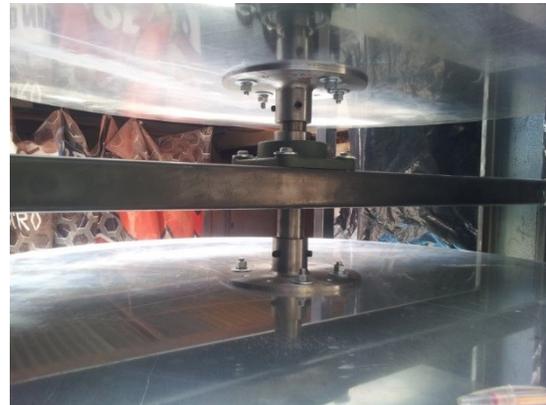


Figura 6 Rotores asegurados

Armado:

Después de haber rolado las planchas de aluminio procedemos a realizar el armado de los rotores.

Se realiza el armado de la estructura metálica la cual será el sustento del aerogenerador. Se deja punteada con máquina soldadora mediante proceso GMAW, alambre ER 70 S-6, Diámetro 0.9mm.



Figura 7 Aerogenerador armado

5.- PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Parámetros de funcionamiento

- Velocidad del viento (V_w)
- Número de revoluciones por minuto del Savonius
- Número de revoluciones por minuto del generador eléctrico
- Velocidad angular del Savonius (W_s)
- Velocidad tangencial del Savonius (U_s)
- Relación de velocidades (λ)
- Potencia del viento (P_w)
- Potencia eléctrica (P)
- Humedad relativa (%H)
- Temperatura ambiente (T_{amb})
- Temperatura del aire (T_{aire})

5.2 Análisis de resultados

Después de la obtención de datos se realiza la curva del coeficiente de potencia vs la relación de velocidades.

6. CONCLUSIONES

Antes de conectar los equipos electrónicos se debe medir la velocidad del viento, ya que si el viento sobrepasa los 12 m/s se pueden quemar. Además, si el viento sobrepasa los 12 m/s, debemos conectar focos incandescentes ya que por ser equipos netamente resistivos no se queman con facilidad.

La potencia eléctrica entregada por el aerogenerador puede alcanzar los 500w, la misma que puede ser utilizada en el encendido de luminarias de 24w y si es en el caso de investigación este equipo está en capacidad de encender un computador laptop.

Se concluye que en las pruebas realizadas en el sector de El Arenal, Provincia de Chimborazo, se presentó una velocidad del viento que alcanzó 21 m/s, lo cual generó que el aerogenerador gire a 388 RPM, generando así un potencial eléctrico de 748W.

El aerogenerador Savonius que se construyó llegó a un coeficiente de potencia del 9% se acerca bastante a los aerogeneradores tipo Savonius importados, cuyo coeficiente de potencia alcanza el 15%, esto se da ya que los generadores importados son realizados para producción en masa y se utilizan materiales más resistentes y de mejor calidad, y el proyecto de investigación que se realizó es un prototipo experimental.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Oliva, Rafael Beltrán. (2011). Introducción a los modelos y control de máquinas eólicas, Patagonia. Univ. Nacional de la Patagonia Austral. S.N.
- [2] Clemente, Alvares. (2006). Energía Eólica, Instituto para la Diversificación y ahorro de energía. Madrid S.N
- [3] José María, Fernández Salgado. (2011). Guía completa de la energía eólica, Madrid. 1ª Edición
- [4] Miguel, Villarubia (2004). Energía eólica. España: Ediciones CEAC
- [5] José María, Escudero López. (2008). Manual de energía eólica, España. 2da Edición