

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TURBINA EÓLICA DE 60 W,
PARA SUMINISTRO ELÉCTRICO DE ZONAS URBANAS

Daniel Enrique Lugo García

cód. 20122375021

Laura Daniela Bejarano Acero

Cód. 20122375036

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad Tecnológica

Proyecto curricular Ingeniería Mecánica

Noviembre 21 de 2012

CONTENIDO

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 ESTADO DEL ARTE	3
1.1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS.....	5
1.1.2. AEROGENERADORES.....	6
1.2. JUSTIFICACIÓN	8
2. OBJETIVOS.....	8
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	9
3. MARCO TEÓRICO	9
3.1. ENERGÍA EÓLICA	9
3.2. ESCALAS DE VIENTOS: VARIACION HORIZONTAL	9
3.2.1. VIENTOS DE ESCALA MACRO (100 - 10,000 KM.)	9
3.2.2. VIENTOS DE ESCALA MEDIA (5 A 200 KM.).....	10
3.2.3. VIENTOS DE ESCALA MICRO (HASTA 10 KM.).....	10
3.3. ENERGÍA ÚTIL DEL VIENTO	10
3.4. CLASIFICACIÓN DE TURBOMAQUINAS	11
3.4.1. MAQUINAS EÓLICAS DE EJE HORIZONTAL.....	13
3.4.2. MAQUINAS EÓLICAS DE EJE VERTICAL	14
4. METODOLOGÍA	15
5. CRONOGRAMA	16
6. PRESUPUESTO.....	17
7. BIBLIOGRAFÍA	18

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Aerogenerador en el Bahrain World Trade Center	7
Ilustración 2. Área A barrida por el rotor de diámetro D	11
Ilustración 3. Rotor savonius.	12
Ilustración 4. Molino multipala	12
Ilustración 5. Aerogenerador Darrieux.....	13
Ilustración 6. Aerogenerador de hélice	13

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 . Potencia eólica anual instalada en el mundo. 1996-2012.....	3
Tabla 2. Cronograma para proyecto	16
Tabla 3. Presupuesto del proyecto.	17

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ha existido una evolución cada vez más rápida de la tecnología en el mundo. El avance de las ciencias, la industrialización y la globalización, han generado del suministro eléctrico una necesidad básica, es por eso que la utilización de recursos renovables dentro de sistemas energéticos ha venido tomando importancia con el transcurso del tiempo, debido a que son una respuesta frente al derroche energético, y el aumento de problemas ambientales relacionados a éste.

Lo anterior ha llevado a que los problemas energéticos que se presentan se enfoquen en soluciones que disminuyan el impacto ambiental, utilizando recursos nuevos y generen un modelo de suministro energético limpio.

En la sociedad actual el uso de dispositivos electrónicos portátiles es cada vez más frecuente, y el hecho de poder tenerlos en uso continuamente es de gran utilidad, para esto es necesario contar con abastecimiento eléctrico que permita la carga de las baterías de dichos aparatos, la red eléctrica actual con la que cuenta Colombia es cada vez más amplia lo que ha logrado llevar éste servicio tanto a zonas rurales como urbanas, sin embargo, en muchas ocasiones se queda corta cuando estamos en zonas verdes, o que no permiten acceso a dicho suministro.

1.1 ESTADO DEL ARTE

La producción de energía eólica en el mundo está en apogeo; China, Estados Unidos, Alemania y España son los primeros productores mundiales. La energía eólica instalada en el mundo creció alrededor de un 10% en 2012, hasta situarse en 282.430 MW, según datos del Global Wind Energy Council (GWEC).

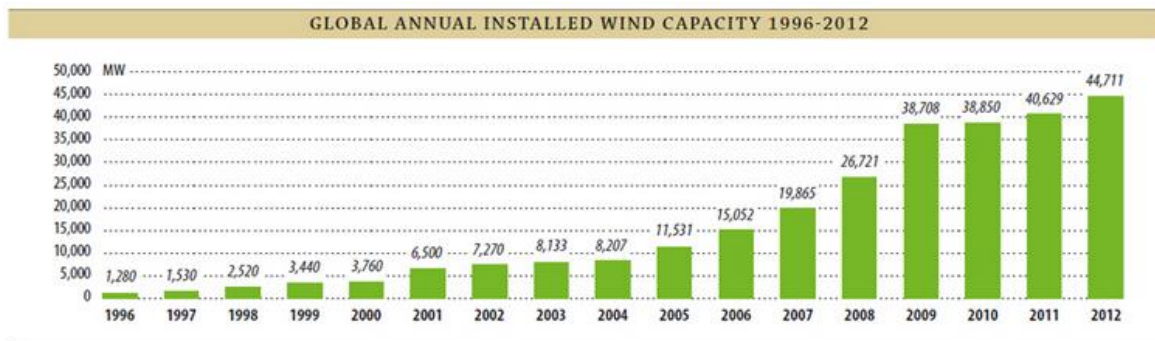


Tabla 1 . Potencia eólica anual instalada en el mundo. 1996-2012

En Colombia a pesar de sus significativos recursos energéticos comunes como el gas, carbón, petróleo y recursos hídricos, aun se presenta muchos problemas en su suministro de energía a través del país por problemas de acceso y conexión, es por esos que la energía renovable toma una gran importancia.

En el caso de la energía eólica, se han identificado que la barrera más grande para su difusión ha sido el desconocimiento de su potencial.

Su principal aplicación en el país es el bombeo de agua la cual la hace muy importante en ciertas zonas del país, sin embargo hay muchas aplicaciones que ameritan un desarrollo de este recurso.¹

En la actualidad, más de 70 naciones desarrollan proyectos eólicos y Colombia hace parte de ellas, con dos infraestructuras en La Guajira: Jepirachi, en Puerto Bolívar, que genera 20 megavatios (MW), y Nazareth, en Uribia, con 200 kilovatios (KW), que es un sistema de producción híbrido que combina fuentes de GLP y diésel con la eólica, para un total de 750 KW.

A estas dos unidades se espera que próximamente se unan otras que vienen siendo evaluadas por algunas empresas generadoras, como el proyecto de 200 MW, que desarrollaría EPM en La Guajira.²

El cambio climático, la inseguridad en el suministro de combustibles fósiles y el aumento de sus precios hacen que cada vez más los países busquen replantear la forma de producir energía eléctrica. Los sistemas de generación eléctrica con turbinas eólicas son una buena solución tanto si se quiere un suministro de energía independiente como complementario, es por eso que Actualmente existe un gran interés por la introducción de la energía eólica en el entorno urbano,

Para el aprovechamiento de esta energía el hombre ha ideado varios artefactos durante el tiempo, como las velas para trasladarse a través de los mares, o molinos de vientos para moler cereales o bombear agua, sin embargo con la llegada de la electricidad se empezaron a crear los primeros molinos de vientos modernos que suelen llamarse turbinas eólicas ya que su función es similar a las turbinas de gas o vapor para generar electricidad. En Ocasiones también son llamados sistemas de conversión de energía eólica (SCEE). De estos sistemas existen aerobombas para el bombeo del agua y aerogeneradores para generar electricidad.³

¹ Asociación empresarial eólica. *Energía eólica en el mundo*. 2011. <<<http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la->>> (último acceso: Noviembre de 2013).

² Higuera M., José. «Colombia le puesta a la generación eólica.» *Portafolio.co*, 16 de Octubre de 2012: <<<http://www.portafolio.co/economia/colombia-le-apuesta-la-generacion-eolica->>>.

³ Dazne, Adfer. *is arquitectura, Turbinas eólicas caseras*. 20 de Junio de 2009. <<<http://blog.is-arquitectura.es/2009/06/20/turbinas-eolicas-domesticas/>>> (último acceso: Noviembre de 2013).

1.1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

En 1888 Brush Construyó la que hoy se cree fue la primera turbina eólica de funcionamiento automático para generación de electricidad.

Tenía un diámetro de rotor de 17 m y 144 palas fabricadas en madera de cedro. A pesar del tamaño de la turbina, el generador era solamente de 2 kW, debido a que las turbinas eólicas de giro lento del tipo americano, tienen una eficiencia media baja La turbina funcionó durante 20 años actuando como cargador de baterías.

Poul la Cour (1846-1908), es considerado el pionero de las modernas turbinas eólicas generadoras de electricidad. También fue uno de los pioneros de la moderna aerodinámica, y construyó su propio túnel de viento para realizar experimentos. En 1918 unas 120 empresas públicas locales tenían un aerogenerador, generalmente del tamaño de 20 a 35 kW.

Durante la segunda guerra mundial, la compañía danesa de ingeniería F.L. midth construyó diversos aerogeneradores bipala y tripala.

El innovador aerogenerador Gedser de 200 marcó los años de postguerra. La turbina tripala con rotor a barlovento, con orientación electromecánica y un generador asíncrono fue un diseño pionero de los modernos aerogeneradores. La turbina disponía de regulación por pérdida aerodinámica. Funcionó durante 11 años sin mantenimiento

En los años 70, después de la primera crisis del petróleo (1973), el interés por la energía eólica se reavivó con fuerza en muchos países. En Dinamarca, Alemania, Suecia, el Reino Unido y los EE.UU., las compañías de energía dirigieron su atención a la construcción de grandes aerogeneradores. En 1979 se construyeron dos aerogeneradores Nibe de 630 kW. Las turbinas resultaron extremadamente caras y, en consecuencia, el alto precio de la energía devino un argumento clave en contra de la energía eólica.

La generación de aerogeneradores de 55 kW que fueron desarrollados en 1980-1981 supuso la ruptura industrial y tecnológica para los modernos aerogeneradores. El coste 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. La máquina Bonus 30 kW, fabricada desde 1980, es un ejemplo de uno de los primeros modelos de los fabricantes actuales.⁴

⁴Universidad de Castilla la Mancha. «Universidad de Castilla la Mancha.» *Energía eólica*. 01 de 01 de 2011.

<<http://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEOLICA_Febrero2012_G9.pdf>> (último acceso: Noviembre de 2013).

1.1.2. AEROGENERADORES

Estrictamente hablando de los aerogeneradores, se definen en general, según la posición de su eje de rotación con relación a la dirección del viento, en dos principales configuraciones.

- **Aerogenerador de eje horizontal**

Llevar el eje paralelo en la dirección del viento, actualmente son las más difundidas y de mayor rendimiento que las otras existentes. En este grupo entran aquellas que tienen 1, 2,3 o 4 palas, además de las típicas multipalas, usadas para el bombeo de agua y que poseen entre 12 y 24 palas.

- **Aerogenerador de eje vertical**

Fueron las primeras máquinas para la captación de la energía eólica, conceptualmente, más sencillas que las de eje horizontal, sin necesidad de algún sistema de orientación y son de fácil construcción.

Los sistemas de generación eléctrica con turbinas eólicas son una buena solución tanto si se quiere un suministro de energía independiente como complementario, es por eso que Actualmente existe un gran interés por la introducción de la energía eólica en el entorno urbano.⁵

Los grandes aerogeneradores se han convertido en artefactos cada vez más familiares en los paisajes rurales, ubicados por lo general en sitios remotos, alejados de las zonas urbanas. Nadie se extraña al ver uno o varios aerogeneradores en campos abiertos. Sin embargo, en las áreas urbanas esto no es tan común, a pesar de que los espacios ciudadanos también ofrecen oportunidades para los pequeños aerogeneradores debidamente diseñados para trabajar en todas aquellas áreas con construcciones, áreas industriales, ciudades, áreas densamente pobladas con muchos edificios, o áreas en la cual la densidad de edificaciones crea comportamientos del viento complejos.

Los vientos concentrados en los espacios entre las edificaciones, pueden servir para maximizar el aprovechamiento de la energía eólica, y con ello, la generación de electricidad.

Los grandes edificios, con zonas de corriente en la parte superior, también son candidatos a albergar turbinas eléctricas.

⁵ Monografias.com. *Mecanismo para el aprovechamiento eólico: las máquinas eólicas*. Noviembre de 2011. <<<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas.pdf>>> (último acceso: Noviembre de 2013)

El rascacielos Bahrain World Trade Center es un edificio de 50 plantas y 240 metros de altura que dispone de tres aerogeneradores de 29 metros de diámetro cada uno. Juntos son capaces de generar entre el 10 y el 15 por ciento de la energía eléctrica requerida por el edificio. En total producen entre 1.100 y 1.300 MWh al año.⁶



Ilustración 1. Aerogenerador en el Bahrain World Trade Center

Haciendo uso de los avances recientes en la tecnología para grandes turbinas eólicas, el desarrollo de nuevos materiales avanzados y aprovechando los avances en otros campos científico-tecnológicos relacionados, se espera que los proyectos mejoren sustancialmente el rendimiento, faciliten la integración y la penetración de pequeñas y medianas turbinas eólica en áreas urbanas.⁷

En universidades y empresas de Colombia se desarrollaron a lo largo de los años diseños de turbinas de todo tipo, mayormente enfocadas a zonas de alto potencial eólico en Colombia y otros diseños enfocados a turbinas de baja potencia, sin embargo el desarrollo en áreas urbanas no ha sido muy atractivo, dada la poca información existente acerca del comportamiento del viento en esas zonas.

En la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, se desarrolló un proyecto donde se determinó el potencial energético del viento entre los bloques cuatro y cinco de la facultad tecnológica, donde se recopiló una gran base de datos meteorológicos, suficientes como para proponer nuevas alternativas para el aprovechamiento de energía eólica en esa zona.

⁶ Moreno Figueredo, Conrado. *Energía eólica en zonas urbanas*. s.f.

<<<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia51/HTML/articulo02.htm>>> (último acceso: Noviembre de 2013).

⁷ FP7. *Turbinas Eólicas de pequeño y mediano tamaño (Small to medium size wind turbines)*. 2011.

<<<http://www.2020horizon.es/-Turbinas-Eolicas-de-pequeno-y-mediano-tamano-i903.html>>> (último acceso: Noviembre de 2013).

1.2. JUSTIFICACIÓN

La era tecnológica por la que atravesamos ha generado un cambio en el comportamiento humano y las necesidades básicas, en las grandes urbes, y ciudades industrializadas, por ejemplo, es notorio el uso de aparatos electrónicos como teléfonos inteligentes, tabletas, computadores portátiles, entre otros; por la mayor parte de la población, las razones de esto pueden ser muchas, puesto que son herramientas que facilitan el trabajo y el estudio, que permiten estar conectados a la internet, a las de redes sociales y a una gran cantidad de información.

Al ser aparatos electrónicos requieren consumo de energía eléctrica para su carga. En las zonas urbanas no se cuenta con una red eléctrica pública, que logre satisfacer la necesidad del usuario

Sin embargo, como se menciona en el planteamiento del problema, es importante entrar a evaluar soluciones que sean amigables con el medio ambiente, que generen perspectivas nuevas frente al campo energético y permitan el uso de recursos diferentes. Por este motivo pensar en el recurso eólico como base para la solución es una alternativa interesante. La instalación de una turbina eólica entregaría energía limpia, renovable y de fácil acceso que se ubicaría particularmente entre los espacios que existen entre edificios pequeños.

Existe en la universidad distrital sede tecnológica un espacio entre el bloque 5 y el bloque 4, que presenta un gran potencial eólico, el cual fue calculado con anterioridad y que será la base para el diseño del prototipo.

El grupo de investigación de Energías Alternativas de la Universidad Distrital GIEAUD, ha venido comprometiéndose en la generación de prototipos que usen la energía alternativas para la conversión a energía eléctrica, ampliando así el espectro de la investigación en ese campo, y permitiendo a los estudiantes tener antecedentes para estudios más amplios de sus aplicaciones. Lo anterior incluye el propósito de este proyecto, que se enfoca también en sentar un precedente para la utilización del potencial energético del viento en zonas urbanas.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseño y construcción de un prototipo de turbina eólica que cumpla la media de 60 W, trabajando en un rango de velocidades de inicio de entre 2 a 4 m/s, para la zona ubicada entre el bloque 5 y 4 de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las condiciones de operación mínimas del equipo.
- Analizar mínimo cuatro opciones de turbina y hacer la selección del prototipo que mejor se ajuste al problema.
- Diseñar el sistema de operación del equipo, definiendo accesorios necesarios para esto.
- Construir el prototipo de turbina
- Hacer pruebas del funcionamiento definiendo carga máxima obtenida.
- Puesta a punto del equipo con relación a la generación obtenida.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica o del viento ha sido utilizada por cientos de años para molienda de granos, bombeo de agua y otras aplicaciones mecánicas. En la actualidad, existen más de un millón de molinos de viento en operación alrededor del mundo; estos se utilizan principalmente para extracción y bombeo de agua. Mientras el viento seguirá siendo utilizado para bombeo de agua, el uso de la energía eólica como fuente energética libre de polución para generación de electricidad es una alternativa atractiva que en los últimos años ha acrecentado el interés de muchos países para su implementación como fuente de generación eléctrica.

Estrictamente hablando, un molino de viento es utilizado para moler granos, así que molinos de viento modernos tienden a conocerse mejor como turbinas eólicas, parcialmente porque su función es similar a las turbinas de gas o de vapor para generación de electricidad. En algunas ocasiones también se les conoce, en la actualidad, como Sistemas de Conversión de Energía Eólica (SCEE). Aquellos sistemas que son utilizados para generar electricidad se conocen como Aerogeneradores y aquellos utilizados para extracción y bombeo de agua se conocen como Aerobombas.

3.2. ESCALAS DE VIENTOS: VARIACION HORIZONTAL

3.2.1. VIENTOS DE ESCALA MACRO (100 - 10,000 KM.)

El flujo de viento originado por la circulación global se conoce como vientos de escala macro. La escala horizontal de movimiento de estos vientos va desde algunos cientos a miles de kilómetros. El viento de escala macro (no perturbado por características de la superficie terrestre excepto por cadenas de montañas) se encuentra en altitudes superiores a los 1,000 metros.

3.2.2. VIENTOS DE ESCALA MEDIA (5 A 200 KM.)

Las variaciones de la superficie terrestre con escala horizontal de 10 a 100 Kilómetros tienen una influencia en el flujo de viento entre los 100 y 1,000 metros de altura sobre el terreno. Obviamente, la topografía es importante y los vientos tienden a fluir por encima y alrededor de montañas y colinas. Cualquier otro obstáculo (o rugosidad) sobre la superficie terrestre de gran tamaño desacelera el flujo de aire. A manera de ejemplo se ilustran dos tipos de vientos de escala media o de naturaleza local como son la brisa marina y los vientos de montaña.

Durante el día la tierra se calienta más que el agua (mar o lago), el aire sobre la tierra asciende y la brisa marina se desarrolla. Durante la noche, la tierra se enfría a temperaturas menores que la del agua, causando una brisa terrestre. Esta es usualmente más débil que la brisa marina.

Otro ejemplo involucra los vientos de valle-montaña. Durante el día, las faldas de las montañas se calientan, el aire asciende y el viento tiende a fluir a través del valle hacia la montaña. Durante la noche, el fenómeno contrario ocurre: aire frío se mueve hacia debajo de la falda de la montaña, forzando el viento a soplar hacia el valle.

En las regiones tropicales vientos térmicos son muy comunes. Estos vientos, los cuales son causados por gradientes de temperatura a lo largo de la superficie terrestre, pueden ser fuertes durante el día, especialmente en regiones desérticas.

3.2.3. VIENTOS DE ESCALA MICRO (HASTA 10 KM.)

En una escala micro, los vientos de superficie (entre 60 y 100 metros sobre el terreno), los cuales son los más interesantes para la aplicación directa de la conversión de la energía eólica, son influenciados por las condiciones locales de la superficie, como la rugosidad del terreno (vegetación, edificios) y obstáculos.⁸

3.3. ENERGÍA ÚTIL DEL VIENTO

En una corriente de aire de densidad ρ y velocidad v , como se indica en la Ilustración 2, la potencia eólica disponible que atraviesa una superficie A y hace un recorrido L en el tiempo t , viene dada por la expresión:

$$N_{\text{viento}} = \frac{E_{\text{cinética}}}{t} = \frac{mv^2}{2t} = \frac{v^2}{2t} (vtA\rho) = \frac{\rho Av^3}{2} = k * v^3$$

⁸ Pinilla S., Alvaro. *Manual de aplicación de la energía eólica*. Bogotá, 1997.

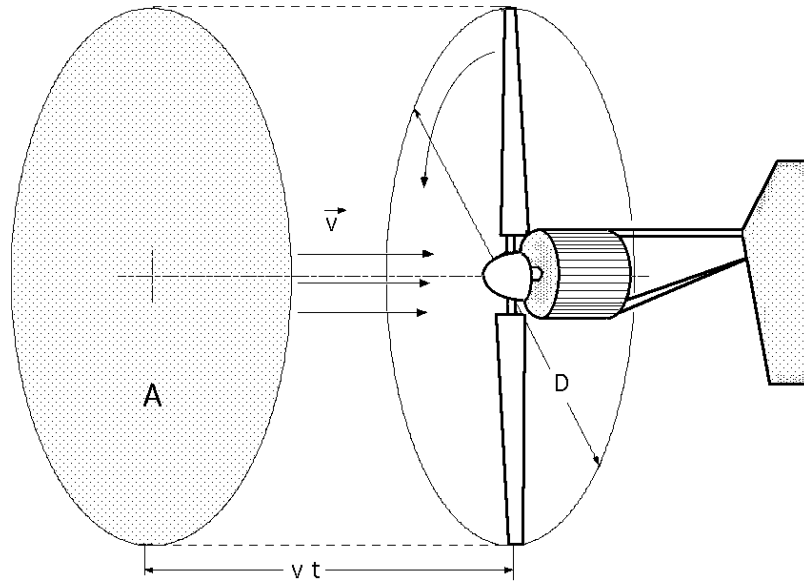


Ilustración 2. Área A barrida por el rotor de diámetro D

La sección A barrida por la pala en un aerogenerador de eje horizontal y diámetro D es: $A = \pi \frac{D^2}{4}$

Y la potencia del viento: $N_{\text{viento}} = \frac{\pi \rho D^2 v^3}{8}$

La velocidad del viento varía con el tiempo y, por lo tanto, su potencia N también variará; se puede considerar el valor medio de ambas, por ejemplo a lo largo de un año, obteniéndose:

$$\hat{N}_{\text{viento anual}} = \frac{1}{2} \rho A \hat{v}_{\text{anual}}^3$$

De estos conceptos se obtienen las siguientes consecuencias:

- La N_{viento} varía fuertemente con la velocidad v, siendo preciso hacer las mediciones de v en el lugar exacto donde se quiera instalar la aeroturbina.
- La N_{viento} varía con la densidad del aire ρ , a causa de las variaciones de presión y temperatura, en valores que pueden oscilar de un 10% a un 15% a lo largo del año.

3.4. CLASIFICACIÓN DE TURBOMAQUINAS

Las máquinas eólicas han sido estudiadas por el hombre en forma intensiva y dentro de ellas existen en la actualidad diferentes tipos que van desde pequeñas potencias, a las grandes máquinas americanas y alemanas de varios MW.

Son numerosos los dispositivos que permiten el aprovechamiento de la energía eólica, pudiéndose hacer una clasificación de los mismos según la posición de su eje de giro respecto a la dirección del viento.

En las máquinas eólicas de eje horizontal, para obtener en las palas una velocidad angular regular y uniforme w , para una determinada velocidad del viento v se requiere que tanto la dirección del viento, como su velocidad, se mantengan constantes con respecto a las palas.

Por el contrario, en las máquinas eólicas de eje vertical, manteniendo las mismas condiciones regulares en la velocidad del viento y en la velocidad angular de las palas, resulta que éstas pueden estar sometidas a un viento aparente de dirección y velocidad continuamente variables, por lo que en estas máquinas, el flujo aerodinámico resulta ser muy complicado, ignorándose en muchas ocasiones las verdaderas posibilidades de las mismas.

Las máquinas eólicas se pueden clasificar en:

- Aeroturbinas de eje horizontal y de eje vertical
- Sistemas giromill (eje vertical y palas verticales, con o sin distribuidor)
- Sistemas especiales.

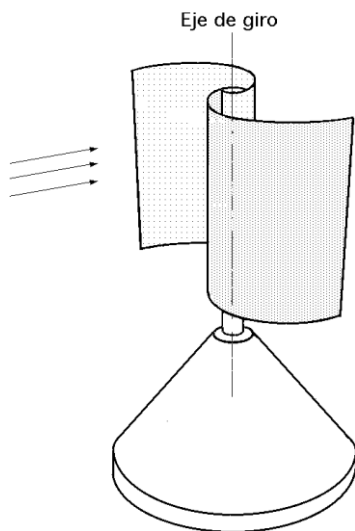


Ilustración 3. Rotor savonius.

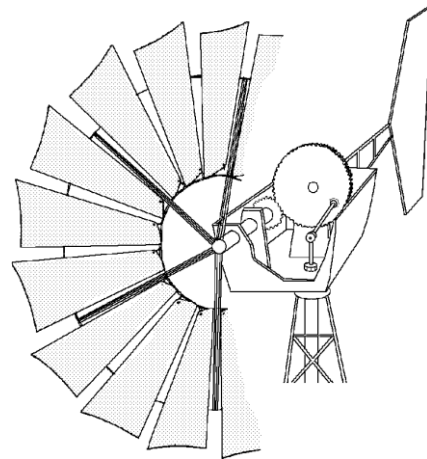


Ilustración 4. Molino multipala

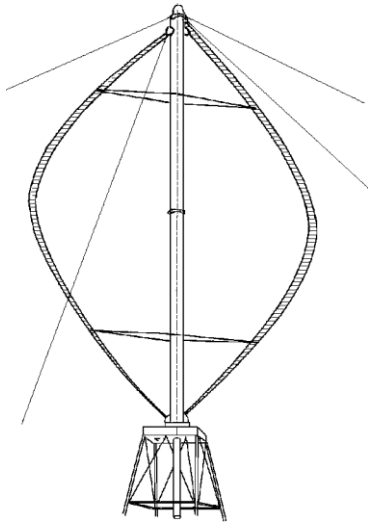


Ilustración 5. Aerogenerador Darrieux

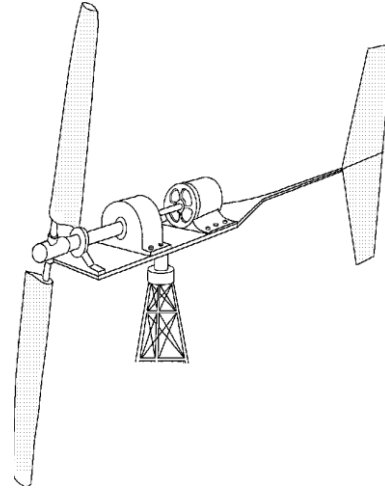


Ilustración 6. Aerogenerador de hélice

3.4.1. MAQUINAS EÓLICAS DE EJE HORIZONTAL.

Las aeroturbinas de eje horizontal se suelen clasificar según su velocidad de giro o según el número de palas que lleva el rotor aspectos que están íntimamente relacionados, en rápidas y lentas; las primeras tienen un número de palas no superior a 4 y las segundas pueden tener hasta 24.

Los principales tipos de máquinas eólicas de eje horizontal, son:

- Máquinas que generan un movimiento alternativo, que se utilizan para el bombeo de agua
- Máquinas multipalas
- Hélices con palas pivotantes (ángulo de ataque variable)
- Hélices con palas alabeadas, muy sofisticadas, que incluyen clapetas batientes y alerones de ángulo variable

Los aerogeneradores de eje horizontal tipo hélice, **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, constan de una aeroturbina, de una góndola o navecilla que contiene al generador eléctrico, dinamo o alternador, al sistema de acoplamiento que puede ser a su vez multiplicador del número de revoluciones proporcionadas por la hélice y al sistema de control y orientación; todo esto va montado sobre una torre similar a las de las líneas eléctricas, en la que hay que vigilar con sumo cuidado sus modos de vibración.

La hélice puede presentar dos tipos de posiciones frente al viento, como son:

- Barlovento upwind, en la que el viento viene de frente hacia las palas, teniendo el sistema de orientación detrás, aguas abajo.

- Sotavento downwind, en la que el viento incide sobre las palas de forma que éste pasa primero por el mecanismo de orientación y después actúa sobre la hélice.

Las aeroturbinas lentas tienen un TSR pequeño y gran número de palas; sus aplicaciones van destinadas generalmente al bombeo de agua.

Las aeroturbinas rápidas tienen un TSR alto y el número de palas tiende a ser menor. Suelen ser tripalas $TSR = 4$ y en algunos casos bipalas $TSR = 8$, habiéndose diseñado y construido, incluso, aeroturbinas con una sola pala.

El proceso de funcionamiento de estas máquinas es diferente, por lo que respecta al tipo de la acción debida al viento que las hace funcionar; en las máquinas lentas la fuerza de arrastre es mucho más importante que la de sustentación, mientras que en las máquinas rápidas la componente de sustentación es mucho mayor que la de arrastre.

El número de palas también influye en el par de arranque de la máquina, de forma que una máquina con un rotor con gran número de palas requiere un par de arranque mucho mayor.

3.4.2. MÁQUINAS EÓLICAS DE EJE VERTICAL

Entre las máquinas eólicas de eje vertical se pueden citar:

- **El aerogenerador Savonius** (Ilustración 4) que puede arrancar con poco viento, siendo muy sencilla su fabricación; tiene una velocidad de giro pequeña y su rendimiento es relativamente bajo.
- **El aerogenerador Darrieux** o de catenaria (Ilustración 6), requiere para un correcto funcionamiento, vientos de 4 a 5 metros por segundo como mínimo, manteniendo grandes velocidades de giro y un buen rendimiento; se construyen con 2 o 3 hojas
- **El molino vertical de palas tipo giromill o ciclogiro** que deriva del Darrieux; tiene entre 2 y 6 palas.

El modelo Darrieux arranca mal, mientras que el Savonius se puede poner en funcionamiento con una pequeña brisa; debido a ello se puede hacer una combinación sobre un mismo eje de ambas máquinas de forma que un rotor Savonius actúe durante el arranque y un rotor Darrieux sea el que genere la energía para mayores velocidades del viento.

Las ventajas de los aerogeneradores de eje vertical frente a los de eje horizontal, son:

- No necesitan sistemas de orientación
- Los elementos que requieren un cierto mantenimiento pueden ir situados a nivel del suelo
- No requieren mecanismos de cambio de revoluciones, por cuanto no suelen emplearse en aplicaciones que precisen una velocidad angular constante.

Las ventajas de los aerogeneradores de eje horizontal respecto de los de eje vertical son:

- Mayor rendimiento
- Mayor velocidad de giro (multiplicadores más sencillos)
- Menor superficie de pala S a igualdad de área barrida A
- Se pueden instalar a mayor altura, donde la velocidad del viento es más intensa⁹

4. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se va a realizar mediante etapas iniciando con un análisis sobre el potencial eólico en nuestra zona de interés.

Según como lo establecen los objetivos, se realizara una selección del aerogenerador más apropiado con base a la velocidad y la dirección del viento, adicionalmente se tomara en cuenta como mínimo cuatro tipos de turbina. Una vez seleccionado la opción más fiable, se inicia por dar parámetros al proyecto y así definir todas las variables del sistema, incluyendo aspectos de materiales, soportes, ubicación etc. Es decir se realizara una ingeniería básica, para concebir un diseño preliminar de este, y así mismo realizar este mismo diseño para cada uno de los subsistemas incluyendo el sistema que proveerá la carga a los equipos electrónicos.

Una vez realizado el diseño preliminar, es importante analizar los procesos de fabricación, el método de ensamble y una simulación de su modo de trabajo, para redefinir el proyecto y llegar a un diseño final que nos dé inicio a la generación de los planos de fabricación, elección de materiales y proveedores que nos permitan comenzar con la fabricación.

Durante el proceso de fabricación se realizaran pruebas preliminares que nos permitirá rediseñar el prototipo, concluir con pruebas más extensas y llegar a la puesta a punto incluyendo todos los cambios que sean necesarios.

Adicionalmente junto con el proceso de fabricación pruebas y puesta a punto se realiza una toma de datos, para completar la documentación necesaria.

⁹ Fernández Díez, Pedro. *Energía eólica*. España: Universidad de Cantabria, 2007.

5. CRONOGRAMA

	SEMANAS																														
ETAPAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Definición del área de trabajo	■	■	■																												
Medición y toma de datos de las condiciones d trabajo.				■	■	■	■	■																							
Definir las variables del sistema.								■	■	■	■																				
Estudio de los posibles prototipos, y selección del que se fabricará.											■	■																			
Realizar un esquema preliminar del prototipo												■	■	■	■																
Realizar el diseño en detalle de cada subsistema.															■	■	■	■	■												
Generar planos de fabricación																			■	■	■	■	■	■							
Fabricación del prototipo																						■	■	■	■	■					
Realización de pruebas y puesta a punto.																							■	■	■	■	■	■	■	■	■
Documentación																■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

Tabla 2. Cronograma para proyecto

6. PRESUPUESTO

COSTOS GENERALES	
COSTOS DE INVESTIGACION	\$ 150.000
COSTOS DE TRANSPORTE	\$ 450.000
COSTOS DE MATERIA PRIMA	\$ 800.000
COSTOS DE FABRICACION	\$ 660.000
COSTOS DE DOCUMENTACION	\$ 200.000
SUBTOTAL	\$ 2.260.000
COSTOS DE INGENIERIA	\$ 4.550.000
TOTAL+ING	\$ 6.810.000

Tabla 3. Presupuesto del proyecto.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Asociación empresarial eólica. Energía eólica en el mundo. 2011. <<<http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo/>>> (último acceso: Noviembre de 2013).
- Dazne, Adfer. is arquitectura, Turbinas eólicas caseras. 20 de Junio de 2009. <<<http://blog.is-arquitectura.es/2009/06/20/turbinas-eolicas-domesticas/>>> (último acceso: Noviembre de 2013).
- Fernández Díez, Pedro. Energía eólica. España: Universidad de Cantabria, 2007.
- FP7. Turbinas Eólicas de pequeño y mediano tamaño (Small to medium size wind turbines). 2011. <<<http://www.2020horizon.es/-Turbinas-Eolicas-de-pequeno-y-mediano-tamano-i903.html>>> (último acceso: Noviembre de 2013).
- Higuera M., José. «Colombia le puesta a la generación eólica.» Portafolio.co, 16 de Octubre de 2012: <<<http://www.portafolio.co/economia/colombia-le-apuesta-la-generacion-eolica>>>.
- Monografias.com. Mecanismo para el aprovechamiento eólico: las máquinas eólicas. Noviembre de 2011. <<<http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas/mecanismos-aprovechamiento-eolico-maquinas.pdf>>> (último acceso: Noviembre de 2013).
- Moreno Figueredo, Conrado. Energía eólica en zonas urbanas. s.f. <<<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia51/HTML/articulo02.htm>>> (último acceso: Noviembre de 2013).
- Pinilla S., Alvaro. Manual de aplicación de la energía eólica. Bogotá, 1997.
- Universidad de Castilla la Mancha. «Universidad de Castilla la Mancha.» Energía eólica. 01 de 01 de 2011. <<http://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEOLICA_Febrero2012_G9.pdf>> (último acceso: Noviembre de 2013).