

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA EÓLICA DE EJE HORIZONTAL MULTÍPALA PARA COMPLEMENTAR UN SISTEMA HIBRIDO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.



**UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS**

DIANA PAOLA FLÓREZ TORRES 20131375082

HAYDEN ANDRES LOPEZ MENDOZA 20132375014

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C. 2014**

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
Ejecutor 1		
Nombre (s):	Diana Paola	
Apellido (s):	Flórez Torres	
Código:	20131375082	
E-mail:	dianapflorezt@hotmail.es	
Teléfono fijo:	7248881	
Celular:	3166589347	
Ejecutor 2		
Nombre (s):	Hayden Andrés	
Apellido (s):	López Mendoza	
Código:	20132375014	
E-mail:	haalopez@gmail.com	
Teléfono fijo:	-----	
Celular:	3212911581	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA EÓLICA DE EJE HORIZONTAL MULTÍPALA COMO COMPLEMENTO A UN SISTEMA HIBRIDO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.	
Duración (estimada):	Cuatro meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	x
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:		
Línea de Investigación de la Facultad:	Desarrollo tecnológico local e institucional	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular:	Energías alternativas	
Grupo de Investigación:	Semillero de energías alternativas	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Energías renovables, Diseño maquinas,	
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)	-----	:
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	Germán Arturo López Martínez	:
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)		:

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Estado del arte.....	6
1.2 Justificación.....	8
2. OBJETIVOS	9
2.1 Objetivos general.....	9
2.2 Objetivos específicos.....	9
3. MARCO TEÓRICO	10
3.1 Generación de energía.....	10
3.2 Energías renovables.....	10
3.3 Energía eólica.....	11
3.4 El viento.....	12
3.5 Turbinas eólicas.....	13
3.5.1 Turbinas eólicas de eje vertical.....	13
3.5.2 Turbinas eólicas de eje horizontal.....	14
3.5.2.1 Turbinas múltipala.....	16
3.7 Sistemas híbridos.....	17
3.8 Definición de conceptos.....	17
4. METODOLOGÍA GENERAL	17
5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	19
6. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN	21
BIBLIOGRAFÍA	22

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TURBINA EÓLICA DE EJE HORIZONTAL MULTÍPALA COMO COMPLEMENTO A UN SISTEMA HIBRIDO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el mundo, la energía eléctrica cumple un papel muy importante, puesto que es parte fundamental para el desarrollo industrial y el sostenimiento de hogares, no obstante, las energías no renovables que han sostenido al mundo por muchos años están agotando sus reservas, por otro lado, la energía hidráulica como una de las energías renovables, afecta el medio ambiente perturbando la corriente de los ríos y en consecuencia el ciclo natural de vida de algunos animales, es por eso que, los seres humanos se han puesto a la tarea de sustentar esas falencias con nuevas energías sostenibles.

Colombia es un país que obedece en gran parte de la energía generada a partir de recursos hídricos, a pesar de ello, aun depende del carbón y el petróleo en un gran porcentaje, por consiguiente es importante que las universidades del país como sitios generadores de conocimiento, estudien, analicen, promuevan y propongan situaciones que contribuyan a la mejora en cuanto a la sostenibilidad energética.

Los recursos renovables cumplen un papel cada vez más importante en la generación de energía, sin embargo las emisiones de elementos contaminantes provenientes de otros tipos de generación, continúan siendo un problema que afecta severamente el medio ambiente; con el objetivo de hacer que la universidad Distrital Francisco José de Caldas sea participe en la generación de energía limpia, se construirá una turbina eólica que junto con un panel solar ya en funcionamiento abastecerán de electricidad una oficina de la universidad, además de familiarizar a la comunidad académica en la masificación de energías renovables.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo sostenible se ha convertido en un área de estudio bastante fuerte debido al efecto que ha causado el uso desmedido de los recursos medioambientales para la solución de necesidades energéticas; la explotación de tierras para la extracción de recursos fósiles afecta la flora y fauna, y con ello todo un ecosistema, de igual manera, las grandes cantidades de agentes contaminantes que se liberan en los diversos procesos de transformación y uso energético, afectan severamente no solo el medio ambiente, sino también la salud de aquellos que habitan este planeta.

Países como Brasil, Argentina y México, han concebido grandes avances tecnológicos a nivel suramericano implementado adelantos en energía solar, parques eólicos, grandes plantas hidroeléctricas e incluso centrales nucleares;¹ Colombia se destaca por poseer grandes recursos hídricos que utiliza para la generación de un gran porcentaje de la energía que se consume² no obstante la implementación de otras fuentes de energía renovable es muy pobre, debido a que el financiamiento de estudios con respecto al tema es muy limitado, dejando de lado la posibilidad de nuevas investigaciones y desarrollos, ya que estos hacen parte de ciertas entidades que tienen necesidades específicas las cuales a fin de cuentas benefician a una comunidad muy pequeña.

Bogotá, puesto que hace parte de las metrópolis suramericanas, cuenta con un índice de contaminación bastante alto en comparación con otras regiones del país, situación que hace de esta ciudad un punto importante para la investigación y formulación de proyectos, enfocados a la mejora en la calidad del medio ambiente y la búsqueda de un desarrollo sostenible.

Las energías alternativas han sido uno de los medios con los que se ha enfrentado dicha problemática, sin embargo su masificación está muy por debajo de lo esperado para abordarla de una manera contundente. Entre las energías alternativas se encuentra la generada a partir del viento, recurso que está presente en cualquier zona, no obstante la calidad y cantidad de este no es

equitativa en todos los sitios, por consiguiente es importante para los ingenieros, diseñar maquinas y/o dispositivos que aprovechen de la mejor manera el recurso.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas facultad tecnológica, Cuenta con el Grupo de investigación en energías alternativas GIEAUD, junto al Semillero de energías alternativas SEA los cuales promueven la investigación y desarrollo de estas tecnologías, entre sus objetivos están abastecer con recursos renovables una de las oficinas del plantel, la cual cuenta con un sistema solar fotovoltaico para la generación de electricidad que es aplicada a la iluminación de la misma, no obstante este sistema tiene un inconveniente debido a que la presencia del sol no es constante, razón por la cual es importante complementar dicho sistema usando otra fuente renovable creando una micro red y de esta forma obtener un sistema hibrido que ofrezca electricidad de una manera más estable y continua.

De acuerdo a lo anterior, y teniendo en cuenta que la energía eólica es una temática que necesita estudio, la Universidad Distrital Francisco José de Caldas debe estar a la vanguardia, generando estudio, análisis y construcción de medios que aprovechen los recursos renovables como una fuente bien establecida en la generación de energía, generando nuevas teorías forjando investigaciones propias y de esta manera contribuir para que el país sea más productivo, y por lo tanto, más competitivo a nivel global.

1.1 ESTADO DEL ARTE

Hoy la tecnología de las turbinas eólicas de mediana y pequeña potencia (500 kW) está madura, por lo que se pueden adquirir en el mercado mundial a una gran cantidad de fabricantes.

La tecnología eólica se encuentra en posición de hacer una importante contribución al suministro mundial de energía para los próximos años. Actualmente, es una de las fuentes alternativas más económicas y aunque los cálculos varían mucho, sólo en Estados Unidos, se considera que se tiene el potencial de proporcionar entre 10% y 20% del suministro doméstico.

Las turbinas proporcionan una buena cantidad de energía comercial en California, Europa e India; mientras que en otros países se utilizan en muchas otras aplicaciones. Hoy día, Dinamarca es el principal poseedor de parques eólicos, suministrando el 13 % de la demanda eléctrica de ese país.

En América Latina y el Caribe experiencias como las de Curazao con un parque eólico de 9 megavatios, que suple el 7% de la demanda nacional, Argentina con varios parques que generan 14 megavatios o Brasil con 20 megavatios, han logrado posicionar el desarrollo de la tecnología eólica en la región. Países como República Dominicana y Barbados han realizado estudios de viabilidad que determinen su potencial eólico como una alternativa para mejorar el suministro nacional de energía.

En América Central existen lugares con gran potencial para la generación eólica,³ en el caso de Costa Rica la generación por medio de parques eólicos es de 71 megavatios, abasteciendo el 2% de la demanda nacional. En los otros países de la región ya se han levantado mapas eólicos que identifican posibles lugares con potencial de generación y que permitirán a los desarrolladores de proyectos incursionar en el negocio de la venta de energía eléctrica en el mercado.⁴

Los sistemas híbridos de han convertido en la solución a los inconvenientes que tiene producir energía a partir de una sola fuente renovable, es por este motivo que dichos sistemas se están implementando cada vez con más intensidad, ejemplo de ello es la compañía italiana *Enel Green Power* que está implementando en Chile una gran planta de energía renovable combinando paneles solares fotovoltaicos con turbinas eólicas, con una capacidad de producción equivalente a 232 kilovatios.⁵ Incluso en España la compañía *Kliux Energies* ofrece un sistema híbrido, eólico-solar fotovoltaico, que genera una potencia nominal de 1800 vatios suficiente para abastecer de energía un hogar promedio.⁶

En el ámbito nacional la comunidad de Nazaret que se encuentra en la zona de la alta guajira zona cuenta con un recurso solar y eólico muy bueno, posee sistemas

híbridos eólicos- solares- diesel los cuales generan la energía suficiente para más de 1000 habitantes;⁷ si bien la utilización de estos tipos de sistemas en Colombia es bastante baja existen empresas como *Energreencol* (energías renovables de Colombia) que ofrecen dentro de sus productos la posibilidad de acceder a un sistema híbrido para la generación de electricidad.

El ICONTEC (instituto colombiano de normas técnicas y certificación) cuenta con varias normas afines a la generación de energía como lo son la GTC114 *especificaciones de sistemas fotovoltaicos para suministro de energía rural dispersa en Colombia*,⁸ la GTC172 *energía eólica, guía para la generación de energía eléctrica*,⁹ y la NTC5725 *aerogeneradores, requisitos de diseño para aerogeneradores pequeños*,¹⁰ las cuales vale la pena tener en cuenta al momento de realizar algún proyecto relacionado. Por su parte instituciones educativas como la Universidad Nacional,¹¹ la Universidad de los Andes¹² y la Universidad de Antioquia,¹³ han realizado importantes investigaciones y aportes alrededor del tema de la generación eléctrica por medio de sistemas híbridos, donde finalmente se incentiva a las demás universidades colombianas a generar material investigativo para el país en dicho ámbito.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Las energías renovables en especial la energía eólica, se constituyen hoy en día en una fuente importante para solucionar los problemas que conlleva pensar en un desarrollo sostenible generado a partir de recursos fósiles; por un lado se tiene la contaminación y destrucción de ecosistemas además de todo lo relacionado con la competitividad por el manejo económico de dichos recursos; por otra parte el desinterés por parte de las instituciones educativas y otras entidades de investigación en cuanto a estos acontecimientos, hace que la problemática se torne aún más grave.

Un punto importante que motivó a la realización de este proyecto, es que las actividades realizadas por la sociedad colombiana continuaran demandando recursos energéticos y los medios de generación utilizados para suplir dicha

demanda seguirán afectando el medio ambiente y acabando con recursos que la naturaleza no puede renovar a la misma velocidad en que se están consumiendo, situación que hace importante que la comunidad universitaria proponga ideas bien fundamentadas para el uso de energía proveniente de recursos renovables, y de esta forma, disminuir los impactos en el método que se está utilizando actualmente.

Finalmente es importante destacar que en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, la experiencia con sistemas híbridos no es muy amplia, situación que hace importante que la universidad por medio del grupo de investigación en energías alternativas GIEAUD y el semillero de energías alternativas SEA, se pronuncie con proyectos que involucren este tipo de temáticas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERAL

Diseñar, construir y poner en marcha una turbina eólica de eje horizontal múltipala, que genere 60 vatios de potencia, como complemento a un sistema híbrido de generación eléctrica a base de energía solar fotovoltaica, para iluminar una oficina de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad Tecnológica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el potencial eólico para la producción de energía en la zona, por medio de la estación meteorológica *Pegasus* con que cuenta la universidad.
- Determinar el perfil y número de palas idóneas para generar la potencia deseada.
- Establecer un sistema de orientación que permita sacar mayor provecho de la energía del viento.
- Elegir un generador eléctrico comercial e implementar un mecanismo de acople entre este sistema con el solar fotovoltaico existente.
- Generar 60 vatios en corriente continua y un voltaje compatible con el sistema solar fotovoltaico.

- Instalar y realizar pruebas de operación y puesta en marcha de la turbina eólica construida.
- Analizar económicamente la turbina y consolidar resultados de evaluación.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA

Entre las definiciones de energía la más generalizada es la capacidad de realizar un trabajo, en otras palabras es la acción de un efecto físico como lo es un movimiento ó un aumento de temperatura necesario para la generación de energía. Con el paso de miles de años el material orgánico generado por la naturaleza es transformado con ayuda del sol en yacimientos de petróleo, gas natural y carbón, elementos denominados combustibles fósiles los cuales son procesados para la producción de energía en centrales electicas, no obstante, el uso de estos es limitado puesto que las reservas se están agotando a una velocidad mucho mayor que su generación natural, por tal motivo son denominados recursos no renovables.

De toda la energía consumida por el mundo cerca del 85% es generada a partir de recursos fósiles es decir que como estos son recursos no renovables se agotan a medida que se van utilizando, además, de que el consumo mundial cada vez aumenta, el ritmo de explotación de dichos recursos es cada vez mas intensivo y extensivo, situación que ha generado temores sobre el agotamiento de los recursos naturales, y el mundo científico ha alertado sobre alguna de las consecuencias de las actuaciones del ser humano sobre el medio ambiente, muchas relacionadas directamente con el elevado consumo de energía de la sociedad moderna.¹⁴

3.2 ENERGÍAS RENOVALES

Las energías renovables son aquellas que provienen de fuentes energéticas que se renuevan en un período bastante corto a escala humana. La energía solar, por ejemplo, se renueva inmediatamente, porque el Sol continuamente está emitiendo

radiación, la energía hidráulica que se obtiene proviene del agua evaporada de los mares, ríos, o del deshielo que tarda días o semanas en generarse; cuando se obtiene energía de biomasa (quemando madera, por ejemplo), ésta se renueva en el tiempo que tarda un árbol en volver a crecer, la energía eólica depende de las condiciones climáticas presentes en un sitio generando flujo de viento. Y así, hay muchos ejemplos que hacen que estas fuentes de energía se renueven continuamente. Se trata de fuentes de abastecimiento inagotables, mientras que no se agote la energía del Sol. La radiación solar es la causante de los diferentes ciclos naturales precursores de estas energías. Como resultado, se tiene las corrientes de agua en los ríos o los mares, el viento y las olas, los árboles y, por tanto, la leña, el calor del Sol, etc.¹⁵

3.3 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es la energía cinética del viento. Para el aprovechamiento de dicha energía se han desarrollado a lo largo de la historia diferentes sistemas tecnológicos, en la actualidad, la aplicación más generalizada de la energía contenida en el viento es la producción de electricidad mediante turbinas ó aerogeneradores que, aprovechando el conocimiento de múltiples disciplinas, se diseñan, construyen y operan con las tecnologías más avanzadas y se conectan, frecuentemente configurando los denominados parques eólicos, a algún tipo de red eléctrica.

Teniendo en cuenta el carácter aleatorio del viento, el pretender incrementar de forma significativa y eficiente la contribución de la energía eólica a la cobertura de la demanda total de un país, requiere la instalación de sistemas fiables de conversión de energía eólica en energía eléctrica, en lugares en los que se haya constatado la existencia de un adecuado recurso eólico. En este sentido, hay que señalar que se han desarrollado diversas técnicas para evaluar los recursos eólicos, las cuales abarcan desde el análisis de indicadores topográficos, biológicos, geomorfológicos, sociales y culturales a los más sofisticados modelos numéricos de simulación mediante ordenador del comportamiento del viento en una zona dada, permitiendo incrementar la fiabilidad de las máquinas eólicas,

reduciendo apreciablemente los costes de la energía generada con esta tecnología.¹⁶

3.4 EL VIENTO

Se considera viento a toda masa de aire en movimiento, que surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre, siendo la fuente de energía eólica, o mejor dicho, la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento.

La Tierra funciona como una gran máquina térmica que transforma parte del calor solar en la energía cinética del viento. La energía eólica tiene como ventajas la de ser inagotable, gratuita y no lesiva al medio ambiente, pero cuenta también con los grandes inconvenientes de ser dispersa y aleatoria. Bajo la acción de la presión, el aire de la atmósfera se desplaza de un lugar a otro a diferentes velocidades, dando lugar al viento.

Las causas principales del origen del viento son:

- La radiación solar.
- La rotación de la Tierra.
- Las perturbaciones atmosféricas.

Los rayos solares inciden perpendicularmente en el ecuador y calientan más la superficie de la Tierra, ya que se reparten sobre una superficie más pequeña que en los polos. Estas diferencias de insolación dan lugar a diferentes zonas térmicas que provocan diferencias de densidad en las masas de aire. En el ecuador, el aire al calentarse se hace más ligero (menos denso) y asciende a las capas altas de la atmósfera dejando tras de sí una zona de baja presión; en los polos, el aire es más pesado (más denso) y desciende aumentando la presión. El aire que envuelve a la Tierra, como cualquier gas, se mueve desde las zonas de mayor presión atmosférica (mayor densidad) a las de menor presión; es decir, si la Tierra no girase y su superficie fuese homogénea el aire se movería desde los polos al

ecuador por las capas bajas de la atmósfera y del ecuador a los polos por las capas altas siguiendo un ciclo de movimiento de aire en cada hemisferio.

El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad, la cual varía entre 3 y 7 m/seg, según diversas situaciones meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/seg, así como en algunos valles más o menos estrechos. En otras regiones es, en general, de 3 a 4 m/seg, siendo bastante más elevada en las montañas, dependiendo de la altitud y de la topografía.¹⁷

3.5 TURBINAS EÓLICAS

El dispositivo que se utiliza para aprovechar la energía contenida en el viento y transformarla en eléctrica es la turbina eólica. Una turbina obtiene su potencia de entrada convirtiendo la energía cinética del viento en un par (fuerza de giro), el cual actúa sobre las palas o hélices de su rotor. Para la producción de electricidad la energía rotacional es convertida en eléctrica por el generador que posee una turbina; en este caso, llamado aerogenerador.

Aparte de las características del viento, la cantidad de energía que pueda ser transferida depende de la eficiencia del sistema y del diámetro del rotor. Las mejores aeroturbinas que se construyen actualmente tienen un índice global de eficiencia (tomando en cuenta la del rotor y el generador) de casi 35%.

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 megavatios. 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.

3.5.1 TURBINAS EÓLICAS DE EJE VERTICAL.

Las máquinas de eje vertical tienen como ventaja que el generador, el multiplicador y otros elementos pesados van instalados en la parte inferior,

prácticamente apoyados en el suelo, con lo que se facilita la inspección del equipo.

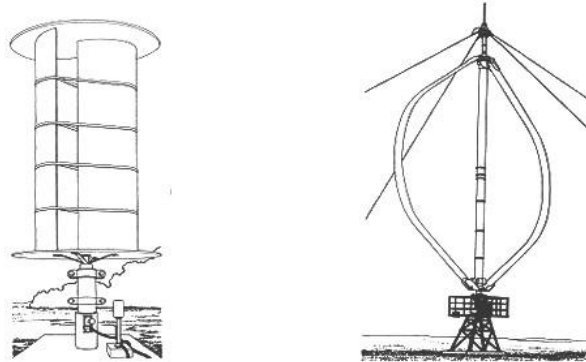


Fig. 2. Turbina Savonius izquierda, turbina Darrieux derecha¹⁸

Entre las máquinas eólicas de eje vertical se pueden citar:

- El aerogenerador Savonius 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, 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 ó 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.

3.5.2 TURBINAS EÓLICAS DE EJE HORIZONTAL

Las turbinas 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.

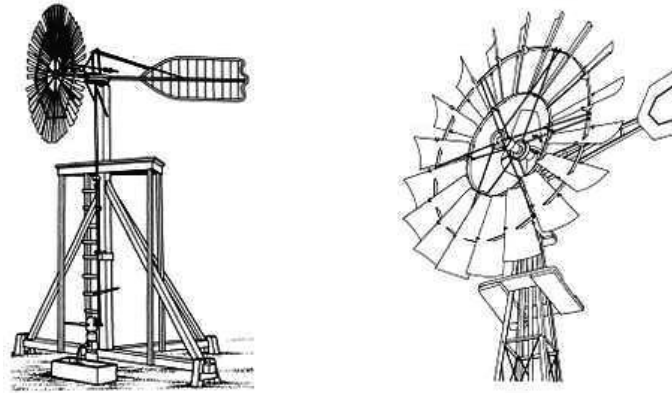


Fig. 2. Turbina múltipala americano¹⁹

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

3.5.2.1 TURBINAS MULTÍPALA

Las turbinas de eje horizontal se clasifican según su velocidad de giro o según el número de palas que lleva el rotor, aspectos que están íntimamente relacionados, en rápidos y lentos.

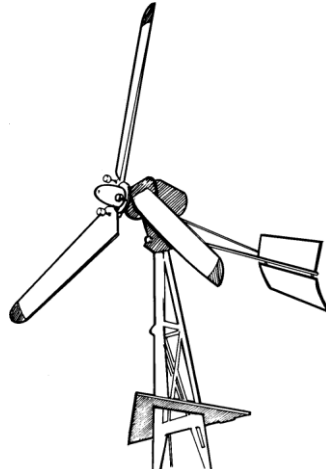


Fig. 2. Turbina ó aerogenerador tripala²⁰

En los aerogeneradores de eje horizontal rápidos, el rotor está constituido por una hélice de 2 o más palas; los perfiles utilizados normalmente en las mismas son muy parecidos al perfil de ala de avión, por cuanto éstos están muy estudiados y se conocen muy bien sus características; dichos perfiles se eligen teniendo en cuenta el número de revoluciones por minuto que se desea adquiera el aparato, definiéndose el perfil en función de:

- La forma de la estructura del mismo respecto a sus líneas medianas o cuerdas a distintas distancias del eje de giro
- De su espesor con relación a la longitud característica de la cuerda
- De la simetría o numero de las palas, etc.

Para aerogeneradores destinados a la obtención de energía eléctrica, el número de palas puede ser de 2 ó 3, por cuanto la potencia generada no depende más que de la superficie barrenada por la hélice, y no del número de palas. La aeroturbina puede accionar dos tipos distintos de generadores eléctricos, de corriente continua (dinamos), o de corriente alterna (síncronos, asíncronos, etc), bien directamente o mediante un sistema de multiplicación de engranajes.

3.6 SISTEMAS HÍBRIDOS

Pequeñas turbinas eólicas brindan una solución atractiva para la electrificación rural en muchos lugares, por su operación económica y simple. Sin embargo, la fluctuación del viento no permite obtener una producción de electricidad constante. Por esta razón, frecuentemente, se usa una turbina eólica en combinación con otra fuente de generación; por ejemplo, paneles fotovoltaicos o un generador eléctrico a base de diesel. Este tipo de sistema se llama un “sistema híbrido”. La mayor ventaja de un sistema híbrido es que provee mayor confiabilidad para la generación eléctrica comparado con uno individual.

La combinación de energía eólica con paneles fotovoltaicos es muy apropiada para zonas aisladas porque no requiere del transporte de combustibles fósiles y, en muchos lugares, la disponibilidad del viento complementa la del Sol.

Los sistemas híbridos son especialmente buenos para la electrificación de comunidades y para usos productivos como el procesamiento de productos agrícolas, porque estas aplicaciones, generalmente, requieren un servicio eléctrico más confiable y estable.²¹

3.7 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

Fósil: Resto de un ser orgánico muerto que se encuentra petrificado en ciertas capas de la superficie terrestre.

Barrenar: Abrir un hueco o agujero.

Alabe: Es una paleta curva de una turbomáquina o máquina de fluido rotodinámica. Forma parte del rodete y en su caso, también del difusor o del distribuidor, los alabes desvían el flujo de corriente para la transformación de energía cinética en otro tipo de energía.

4. METODOLOGÍA GENERAL

El proyecto se realizará bajo asesorías de un tutor, ya que es importante contar con una opinión más experimentada al momento de realizar análisis y tomar

decisiones alrededor de la materia, con ello tener la seguridad de que el trabajo sea lo más acertado posible, para empezar, el grupo de trabajo se enfocará en realizar un análisis de tipo conceptual, de esta manera, se abordará el estudio de toda la información que concierne al tema de máquinas eólicas y generación eléctrica, interactuando y buscando asesoría de toda la experiencia de docentes, información brindada por parte del semillero de investigación, además de la información disponible en artículos, libros documentales, bases de datos, entre otros, con el fin de estar a la vanguardia en el tema.

Por medio de la estación meteorológica *Pegasus* con la que cuenta la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, se recolectarán datos correspondientes al comportamiento del viento, para después realizar un análisis obteniendo el potencial eólico de la zona. Luego se prestará atención al mecanismo de iluminación que posee la oficina, analizando el sistema solar fotovoltaico que parcialmente la satisface en búsqueda de los componentes con los cuales cuenta y de esta forma crear un punto de partida.

Con los datos obtenidos del potencial eólico, junto con los conocimientos adquiridos y la información recolectada, se realizará un pre diseño de la turbina determinando mínimo dos tipos de ellas como opciones para la generación de la potencia considerada, de la misma manera seleccionar el sistema de orientación más adecuado según las características del sitio.

Posteriormente se elegirá una metodología de evaluación estableciendo indicadores y criterios que permitirán seleccionar las mejores alternativas garantizando la calidad del diseño, para ello se tendrá en cuenta que los materiales de construcción de todo el sistema sean económicos, ligeros y resistentes, tanto en su comportamiento mecánico como a la exposición del medio ambiente, entre otras características que irán surgiendo a medida que se avance en la investigación, por otro lado el generador eléctrico debe ser de fácil adquisición comercial, el cual contará con un mecanismo de unión y/o acople a la turbina y también al sistema solar fotovoltaico existente; por último, un mecanismo de conmutación manual entre ambos sistemas.

De ser necesario serán realizados diversos análisis con el fin de mejorar el diseño propuesto, de esta manera obtener el diseño final con el que se construirá la turbina eólica correspondiente; dicha turbina será instalada y puesta a prueba. Finalmente se pondrá en marcha y se estudiarán los resultados obtenidos realizando un análisis de costo/beneficio a la par del estudio de fortalezas y debilidades del proyecto.

5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Dentro de lo establecido para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se estipularon las siguientes actividades, las cuales van en orden consecutivo.

- Estudio detallado sobre energía eólica y generación eléctrica por parte del grupo de trabajo.
- Recolectar información correspondiente a las características del viento por medio de la estación meteorológica *Pegasus* de la universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Graficar y estudiar estadísticamente los datos obtenidos a fin de encontrar el potencial eólico del sector.
- Estudio y análisis del sistema solar fotovoltaico existente y la necesidad eléctrica propuesta.
- Analizar, estudiar y posteriormente realizar el pre-diseño de al menos dos tipos de turbinas eólicas de eje horizontal múltipala, como posibles soluciones.
- Seleccionar el mejor tipo de turbina, según la evaluación realizada por los autores
- A partir de las herramientas consultadas y de los conocimientos adquiridos, realizar el diseño de la turbina teniendo en cuenta los siguientes puntos.
 - Determinar el número y tipo de alabes
 - Establecer el sistema de orientación más adecuado.
 - Seleccionar los materiales para la construcción tanto de la turbina como del sistema eléctrico.
 - Implementación de un generador eléctrico comercial.

- Mecanismo de acople entre el sistema solar fotovoltaico y la turbina eólica.
- Conmutación manual entre el sistema solar fotovoltaico y la turbina eólica.
- Sistema de apoyo y/o soporte.
- Mejorar el diseño de la turbina por medio de análisis y estudios respectivos de ser posible haciendo uso de diversos software.
- Construir la turbina eólica correspondiente.
- Instalar y poner en marcha la turbina analizando su comportamiento en búsqueda de fortalezas y debilidades del proceso.
- Análisis costo- beneficio.
- Consolidación de resultados.
- Redacción del documento final.

Finalmente se realizó un recuadro con el fin de ilustrar las actividades con respecto al tiempo.

MES	1				2				3				4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ACTIVIDAD																
Estudio detallado sobre energía eólica y generación eléctrica por parte del grupo de trabajo.	■	■	■	■	■	■	■	■								
Recolectar información correspondiente a las características del viento por medio de la estación meteorológica Pegasus de la universidad Distrital Francisco José de Caldas.	■															
Graficar y estudiar estadísticamente los datos obtenidos a fin de encontrar el potencial eólico del sector.		■	■	■	■											
Estudio y análisis del sistema solar fotovoltaico existente y la necesidad eléctrica propuesta.					■	■										
Analizar, estudiar y posteriormente realizar el pre-diseño de al menos dos tipos de turbinas eólicas de eje horizontal múltipala, como posibles soluciones.						■	■									
Seleccionar el mejor tipo de turbina, según la evaluación realizada por los autores.						■	■									
A partir de las herramientas consultadas y de los conocimientos adquiridos, realizar el diseño de la turbina, determinando el número y tipo de alabes y estableciendo un sistema de orientación junto con los materiales para la construcción además de un mecanismo de acople y sistema de conmutación manual.						■	■									

TOTAL PROYECTO	\$ 5'140.000
-----------------------	---------------------

Los costos dados en la tabla anterior son cifras en pesos colombianos para el año 2014.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 *Mansilla, Diego. "Integración Energética y Recursos Naturales en América Latina". La revista del CCC [en línea]. Enero / Abril 2011, n° 11. [citado el 2 de Abril de 2014]. Disponible en Internet: <http://www.centrocultural.coop/revista/articulo/212/>. ISSN 1851-3263.*
- 2 *Carpio, Claudio. Coviello Manlio. "Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio". [citado el 2 de Abril de 2014]. Disponible en Internet: <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/8/51608/Eficienciaenergetica.pdf>*
- 3 *Conocer los vientos, para emprender el viaje. El inmenso potencia de la energía eólica [Citado el 12 de marzo de 2014]. disponible en internet: <http://flagellum.wordpress.com/tag/cambio-climatico-eolica-generacion-energia-aerogeneradores-electricidad-viento-nuclear/>.*
- 4 *BUN-KA, Manuales sobre energía renovable - Eólica, San José - Costa Rica, Septiembre de 2002, Pag 5.*
- 5 *Enel Green Power construye una planta híbrida en Chile, que requerirá una inversión de 2.17 millones. [Citado el 12 de marzo de 2014]. disponible en internet: <http://www.invertia.com/noticias/enel-green-power-construye-planta-hibrida-chile-requerira-inversion-2955660.html>*
- 6 *Sistema híbrido eólico solar fotovoltaico Kliux. [Citado el 12 de marzo de 2014]. disponible en internet: <http://www.kliux.com/productos/hibrido-eolico-solar/>.*
- 7 *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE). [citado el 2 de Abril de 2014]. Disponible en Internet: http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_2_Diagnostico_FNCE.pdf*
- 8 *GTC114 - Especificaciones de sistemas fotovoltaicos para suministro de energía rural dispersa en Colombia. [citado el 2 de Abril de 2014]. Disponible en Internet: <http://tienda.icontec.org/brief/GTC114.pdf>*

-
- 9 GTC172 *energía eólica, guía para la generación de energía eléctrica*. [citado el 2 de Abril de 2014]. Disponible en Internet: <http://tienda.icontec.org/brief/GTC172.pdf>
- 10 NTC5725 *aerogeneradores, requisitos de diseño para aerogeneradores pequeños*. [citado el 2 de Abril de 2014]. Disponible en Internet: <http://tienda.icontec.org/brief/NTC5725.pdf>
- 11 *Sistemas híbridos como alternativa energética*. [Citado el 03 de Noviembre de 2014]. disponible en internet: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/en/dper/article/los-sistemas-hibridos-como-alternativa-energetica.html>
- 12 *Estudio sobre la viabilidad técnica y económica de uso de sistemas híbridos para la generación de energía eléctrica*, [Citado el 03 de Noviembre de 2014] disponible en internet: <https://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/rev8art2.pdf>
- 13 *Diseño multiobjetivo de un sistema hibrido eólico solar con baterías para zonas no interconectadas*. [Citado el 03 de Noviembre de 2014]. disponible en internet: <http://www.scielo.org.co/pdf/tecn/v18n39/v18n39a07.pdf>
- 14 DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA ENERGÍA Y MINAS, *La energía – El recorrido de la energía*, Publicación para la comunidad de Madrid España, Pag 4-5
- 15 DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA ENERGÍA Y MINAS, *La energía – El recorrido de la energía*, Publicación para la comunidad de Madrid España, 11p.
- 16 CARTA JOSÉ, CALERO ROQUE, COLMENAR ANTONIO, CASTRO MANUEL, *Centrales de energías renovables - Generación eléctrica con energías renovables*, PEARSON 2009, 334-335 p.
- 17 FERNÁNDEZ DÍEZ PEDRO, *energía eólica*. departamento de ingeniería eléctrica y energética universidad de Cantabria España 2007, 4, 5, 11 p.
- 18 *Evolución de la energía eólica*. [Citado el 12 de marzo de 2014]. disponible en internet: <http://www.renov-arte.es/energia-eolica/evolucion-de-la-energia-eolica.html>.
- 19 *Evolución de la energía eólica* [Citado el 12 de marzo de 2014] disponible en internet; <http://www.renov-arte.es/energia-eolica/evolucion-de-la-energia-eolica.html>.
- 20 *Turbina ó aerogenerador tripala* [Citado el 12 de marzo de 2014]. disponible en internet, <http://www.fao.org/docrep/010/ah810e/AH810E160.gif>.
- 21 BUN-KA, *Manuales sobre energía renovable - Eólica*, San José - Costa Rica, Septiembre de 2002, 8, 12.p.