

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE GENERADOR
EÓLICO DE CORRIENTE CONTINÚA**

TRABAJO DE GRADO:

ALEJANDRA SANCHEZ TORRES

COD: 2004201606

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE EDUCACION

**LICENCIATURA EN ED. BASICA CON ENFASIS EN CIENCIAS NATURALES Y
ED. AMBIENTAL**

NEIVA-HUILA

FEBRERO DE 2011

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE GENERADOR EÓLICO
DE CORRIENTE CONTINÚA**

TRABAJO DE GRADO:

ALEJANDRA SANCHEZ TORRES

COD: 2004201606

Línea de Investigación:

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN FÍSICA TEÓRICA: ENERGÍAS
ALTERNATIVAS**

Asesor:

DR. HERNADO GONZÁLEZ SIERRA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE EDUCACION

**LICENCIATURA EN ED. BASICA CON ENFASIS EN CIENCIAS NATURALES Y
ED. AMBIENTAL**

NEIVA-HUILA

ENERO DE 2011

Firma del jefe de programa

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Neiva- febrero de 2011

AGRADECIMIENTOS

Al asesor del trabajo de grado, Dr. Hernando González Sierra, quien dedicó parte de su tiempo en la orientación y feliz culminación de este estudio.

A mi esposo, Adrian Soto Calderón, por su apoyo incondicional durante la carrera y por la colaboración sobre detalles técnicos en la construcción del prototipo.

A mi padre, por sus reiterados consejos y la ayuda prestada para llevar a cabo el inicio, y terminación, de mis estudios de Licenciatura en Educación Básica con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. ANTECEDENTES	11
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	14
5. OBJETIVOS	16
5.1 OBJETIVO GENERAL	16
5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	16
6. ALCANCE DEL PROYECTO	17
7. HIPÒTESIS SEGUN EL DISEÑO METODOLOGICO	18
8. MARCO TEÒRICO	19
8.1. Principio de Bernoulli:	19
8.1.1. Formulaci3n de la ecuaci3n.....	19
8.1.2. Aplicabilidad	20
8.2. Principio de Conservaci3n de la Energia:	21
8.3 Principios o Leyes del Electromagnetismo:.....	22
8.3.1 Ley de Ampere:.....	23
8.3.2 Ley de Ohm:	23
8.3.3 Ley de Faraday	24
8.4 Energía E3lica	25
8.4.1. ¿Que es un Aerogenerador?	26

8.4.2. Diferentes tipos de Aerogeneradores	27
8.4.2.1. Aerogeneradores de Eje Horizontal:	28
8.4.2.2. Aerogeneradores con Planta Vertical:	29
8.4.3. Clasificación según el Número de Palas.	30
8.4.3.1. Monopala (1 sola aspa)	30
8.4.3.2 Bipala (oscilante/basculante).....	30
8.5 Descripción y Funcionamiento del Generador Eólico	32
8.5.1. Partes Individuales	32
8.5.1.1 Rotor	32
8.5.1.2 Torre	33
8.5.1.3 Tipos de torres:	33
8.5.1.4 Sistema de orientación (veleta).....	34
8.5.1.5 Generador Eléctrico (la dinamo).....	35
8.5.1.6 Baterías	36
9. METODOLOGIA.....	37
10. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	38
11. CRONOGRAMA DE TRABAJO.....	39
12. RECURSOS MATERIALES	40
13. DISEÑO DEL PROTOTIPO (DESCRIPCIÓN).....	41
13.1 Cimiento.....	41
13.2 Mástil o torre de la eólica:.....	42
13.3 Plataforma:.....	43
13.4 La Cola o Timón de la Eólica (veleta)	43
13.5 La Dinamo:	44

13.6 ROTOR: El rotor incluye el buje y las aspas, es la parte principal de la máquina eólica.	44
13.6.1. Aspas:	44
13.6.2. Buje o Base de las Aspas:.....	45
13.7 Batería	46
13.8 Lámpara de 12 v.....	48
14. JUSTIFICACIÓN DEL DISEÑO.....	49
14.1. Mástil o torre.....	49
14.2. Cimiento	51
14.3. Plataforma.....	52
14.4. Generador Eléctrico (Dinamo).....	53
14.5. Sistema de orientación (veleta).....	54
14.6. Aspas o palas:.....	55
14.6.1. Modificaciones de las aspas:.....	57
15. PUESTA EN MARCHA.....	60
CONCLUSIONES.....	63
ANEXOS	64
FUENTES DE CONSULTA	68

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Detalle del tornillo incrustado en la torre vista horizontal	42
Ilustración 2 Detalle del tornillo incrustado en la torre, vista vertical	43
Ilustración 3 Eje del motor con punta de rosca y tuerca para ejercer presión al centro de las aspas.....	45
Ilustración 4 Buje de material acrílico unido al eje del motor por medio de una copa metálica	46
Ilustración 5 Batería de motocicleta ubicada en la parte inferior de la torre conectada a la lámpara de 12 v.	46
Ilustración 6. Cable blanco calibre 12, utilizado en la construcción del prototipo	47
Ilustración 7. Lámpara de 12v	48
Ilustración 8. Torre del prototipo. En la parte superior se aprecia el rotor con la veleta.....	50
Ilustración 9. Tubo coaxial incrustado dentro de un tubo de mayor diámetro....	50
Ilustración 10 Plataforma unida al juego de balineras de la torre	51
Ilustración 11 .Cimiento del prototipo.	51
Ilustración 12 Estructura tubular unido al cimiento	52
Ilustración 13 . Plataforma del prototipo	52
Ilustración 14. La dinamo unida a la estructura tubular que soporta el rotor	53
Ilustración 15 .Dinamo instalada en la plataforma sujeta con una abrazadera	53
Ilustración 16 . Veleta fijada a la barra de hierro soldada a la plataforma	54
Ilustración 17 .Aspas del prototipo unido al buje acrílico.....	56
Ilustración 18 .Parte superior del prototipo donde se encuentra el rotor, el generador y la veleta.....	57
Ilustración 19 Diseño final de las aspas construido con tubo PVC.....	58
Ilustración 20 . Tornillos de 1" por 5/16 incrustados en el buje acrílico sosteniendo las aspas.....	58
Ilustración 21. Aspas modificadas	59

1. INTRODUCCIÓN

La producción, distribución y forma de empleo de energías alternativas y renovables, como fuentes sustitutivas de las energías derivadas del petróleo y del carbón, proporcionan no solo una alternativa para ir avanzando en el cuidado y buen mantenimiento del medio ambiente, sino que permiten disminuir la crisis de tipo económico y social, generada por el agotamiento de las reservas mundiales de las energías no renovables. El proceso de sensibilización social del uso de energías limpias y renovables debe partir desde la escuela, desde los mismos núcleos familiares, ya que estas transformaciones de beneficio social forman parte de la cultura y riqueza de nuestros pueblos.

Consecuente con el compromiso social, con nuestra comunidad y con futuras generaciones, he decidido colocar un granito de arena en esta reelaboración de un futuro más promisorio, libre de la contaminación que produce el inadecuado uso de nuestras fuentes actuales de energía. Para los efectos anteriores presento a la comunidad académica de la Universidad Surcolombiana, a través de la Facultad de Educación y del programa de Licenciatura en Educación Básica, con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, mi trabajo de grado elaborando el estudio denominado “Diseño y elaboración de un prototipo de generador solar de corriente continua”.

Gran parte del trabajo está debidamente fundamentado en principios físicos como el Principio de Bernoulli, las leyes del electromagnetismo y el principio de conservación de la energía. El asesor de esta tesis es el Doctor Hernando González Sierra, Director del grupo de Investigación en Física Teórica, con amplia experiencia investigativa en Física Teórica y Física Aplicada.

Un propósito que en algunas ocasiones queda oscurecido por diversas circunstancias, es que este trabajo académico, que forma parte de nuestro currículo de formación, debería elaborarse desde el punto de vista de la investigación formativa. Otro punto de contacto importante, lo representa el hecho de que a nivel profesional estos desarrollos repercutan y tengan continuidad en el ejercicio docente; por ejemplo, como un esfuerzo adicional de hacer llegar los logros de la academia al entorno externo.

El presente trabajo forma parte de un grupo de reflexiones académicas contempladas en el proyecto de investigación denominado “Desarrollo de tecnologías en aprovechamiento de Energías Alternativas (energía solar)”, proyecto avalado por la Vicerrectoría de Investigación y Proyección Social de la Universidad Surcolombiana, tomando como elementos de conexión los trabajos relacionados para la reconstrucción de diversos dispositivos fotoeléctricos y fotovoltaicos, elaborados por otros compañeros del programa de Licenciatura en Ciencias Naturales [1], los cuales ilustran de manera adecuada su funcionamiento y permitiendo la continuidad , y normal desarrollo, de la línea de investigación en energías alternativas.

Con los diferentes prototipos diseñados y construidos hasta el momento, el grupo de investigación en Física Teórica, propicia la capacitación de estudiantes de la Universidad Surcolombiana a través de estudios especializados y promueve estos esfuerzos de investigación formativa, para que sus egresados se relacionen con el medio externo y logren niveles de bienestar social para estar a la vanguardia en un mundo cada vez más competitivo.

Para ello es necesario afrontar retos que requieren un espíritu innovador, que ha sido el escenario adecuado para el progreso de las grandes potencias en lo que respecta a la producción de diferentes tipos de energía, aunque no se pone en duda la necesidad de responder a la creciente escasez de suministros de energía y el aumento de su demanda; no obstante, tenemos toda la obligación de hacerlo de forma que no corra peligro el funcionamiento natural de nuestro planeta y de sus especies.

El propósito de este trabajo de tesis es diseñar un prototipo de sistema generador eólico. A nivel nacional la región de la Guajira ofrece un panorama fértil para explorar esa potencialidad de la existencia de corrientes eólicas de excelentes velocidades de circulación; sin embargo, la región Surcolombiana tiene puntos estratégicos en donde los vientos alcanzan velocidades suficientes para explorar esas fortalezas de conversión de energía eólica en energía eléctrica [2].

2. ANTECEDENTES

El grupo de investigación en Física Teórica de la Universidad Surcolombiana tiene la línea de investigación en Energías Alternativas o renovables, la cual ha sido implementada por el Doctor Justo Valcárcel Montañés a partir del año 2009. Se ha desarrollado el proyecto denominado “Desarrollo en Tecnología solar directa y fotovoltaica” (Fase I Y II), cuya elaboración se basa en el hecho de que los sistemas energéticos actualmente existentes han sido construidos fundamentalmente en torno a las ventajas derivadas del uso de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). Estos recursos, fuentes de energía no renovable, tienen tendencia a desaparecer debido a la escasez de las fuentes primarias, como el carbón y el petróleo, y a los precios exorbitantes que han alcanzado estas formas de la energía. **[3]**

Hoy en día se busca la utilización de energías renovables, como la energía solar, eólica e hidráulica. Estas fuentes de energía tienen ventajas, ya que se renueva con el tiempo y no desaparecen fácilmente. Uno de los mayores desafíos a los que deberá hacer frente la humanidad durante el presente siglo será, con toda certeza, proporcionar un acceso universal a otras formas de energía, de manera que se consiga un mundo que sea seguro, limpio y sostenible.

Los combustibles que se queman son responsables de grandes problemas medioambientales, especialmente de contaminación, que producen cambios climáticos severos y desastres naturales, razón por la cual forman parte de las agendas de prevención de la gran mayoría de países desarrollados. Son ejemplos de esta contaminación ambiental la acumulación de gases invernadero, acidificación, contaminación del aire, contaminación del agua, daño de las capas superficiales y carencia de ozono troposférico. Estas señales de problemas medioambientales son ocasionadas por la liberación de contaminantes, que están presentes en la estructura de los combustibles, como el Sulfuro y el Nitrógeno. Una visión cercana desde comienzos del año 2000, de estos comportamientos incontrolados de devastación del medio ambiente, por calentamiento global está produciendo estragos en la naturaleza, en el hombre, en la salud y en la economía. **[4]**

Entonces, ¿Por qué usamos extensamente los combustibles fósiles todavía?, la respuesta solo lo saben los que explotan este recurso, lo único que se conoce es que las nuevas tecnologías reemplazaran muy pronto a los recursos no renovables, debido a que es una vía propicia para la conservación del medio. Se espera que no sea demasiado tarde para salvar al planeta de las grandes emisiones de CO2 y de otros gases contaminantes. Parte de este trabajo de grado conlleva la concientización a los habitantes de la región Surcolombiana, del adecuado uso y manejo de las diversas formas de energía no renovable para propender por un medio ambiente libre de perjuicios ocasionados por inadecuados proceder.

3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo constituye una aproximación al estudio de las energías alternativas siendo este una buena opción para suplir a las fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación.

Colombia como un país en vía de desarrollo debe buscar aprovechar las energías alternativas en forma práctica; si bien el país tiene buenas fuentes para la generación de energía, como es el caso de las hidroeléctricas; también puede tener en cuenta su impacto sobre el medio ambiente y sobre las poblaciones cercanas a este.

En algunos casos nuestras fuentes de energía actuales tienen efectos positivos, pero es una realidad que dichas fuentes no son eternas; en consecuencia, es prioridad del gobierno avalar el buen aprovechamiento de las energías alternativas, para bien de la sociedad y su entorno, con una naturaleza sostenible, con cobertura total, y sobre todo de acuerdo con la nueva visión global de un mundo limpio y libre de emisiones nocivas .

La carencia de energía eléctrica en las zonas “Desprotegidas” del Huila o su poca eficacia en otros lugares del departamento, y conociendo que esta energía es vital para nuestro desarrollo; lo que pretendemos con este trabajo de tesis es aportar una pequeña, pero significativa, solución a este problema utilizando un recurso renovable como lo es la energía eólica

Se ha decidido diseñar un prototipo de generador eólico a pequeña escala, con la ventaja de su fácil manipulación, con la esperanza de que este diseño tenga efectos multiplicativos, que permitan su implementación en lugares de la región Surcolombiana, en donde la marcha de los vientos tiene valores óptimos.

4. FORMULACION DEL PROBLEMA

Cada vez es más numeroso el colectivo de pequeños productores domésticos e industriales que disponen de un potencial eólico aceptable en su lugar de emplazamiento y estarían dispuestos a instalar pequeños aerogeneradores, si se les facilitarán las condiciones para hacer efectivo el uso de estas fuentes de energía.

buscar y aprovechar fuentes de energía alternativa es el camino a seguir para solucionar muchos de los problemas energéticos y ecológicos de la humanidad.

Informarnos sobre los alcances de este tema es fundamental y parte de la solución al problema, es unirnos formando pequeños grupos, ya sea proponiendo al gobierno por la puesta en funcionamiento de instalaciones más limpias en la producción de energía o para que esos pequeños colectivos construyan equipos de variados tamaños y costos, que aprovechen las fuentes de energía alternativa para beneficio de su comunidad; lo anterior, podría lograr la ventaja de no depender del sistema interconectado nacional de energía eléctrica.

Siendo dueños de nuestro propios recursos alejando a los grandes monopolios extranjeros que lo único que les interesan es enriquecerse a costa de la explotación de nuestros recursos, vendiendo a la misma población los productos que la misma tierra produce.

Todos los anteriores esbozos nos animan para trabajar en aerogeneradores o turbinas eólicas, que constituyen la evolución de nuevas tecnologías confeccionadas con materiales livianos, y gracias a ellas, permitir el avance de la implementación de la energía renovable eólica debido a la eficacia que ellas proporcionan.

Ahora bien, para poder disponer de un mejor aprovechamiento o de la energía eólica es necesario conocer las variaciones diurnas y nocturnas de las corrientes de viento, y no debemos olvidarnos de sus estacionales, la variación de sus

velocidades y la altura del suelo, también el efecto de las fuerzas de las ráfagas en tiempos breves y extensos a través del tiempo, y desde luego su velocidad máxima en la zona en dónde se ubicarán los aerogeneradores. De otro lado la historia de los molinos de viento son muy remotas, al principio eran una suerte de grandes ruedas con paletas expuestas al viento.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Realizar un análisis teórico de la construcción de un generador eólico de corriente continua y efectuar el diseño del prototipo.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar bosquejos de prototipos eólicos y analizar la aplicación que este tipo de energía puede tener en la sociedad.
- Emplear elementos y partes usadas de electrodomésticos ,automóviles, etc., para construir un sistema generador de energía eléctrica
- Implementar un prototipo de aerogenerador adaptable y resistente a diversas circunstancias climáticas.
- Promover por medio del proyecto el empleo de energía eólica como fuente de energía renovable y limpia.

6. ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto pretende recoger la información posible y necesaria, para la construcción de un prototipo de generador de energía eólica; y así, encaminarnos hacia el aprovechamiento de los recursos que nos brinda la naturaleza, sin por ello tener que causar daños irreversibles que pongan en peligro la sostenibilidad del entorno.

Nuestro planeta afronta una terrible situación ambiental, que tiene que ver con el calentamiento global, razón por la cual lo que se busca con este trabajo de tesis es incorporar al diario vivir nuevas formas energéticas que ayuden a disminuir el daño ambiental que hemos causado por años a nuestro entorno, con la manera indiscriminada de empleo de los combustibles fósiles.

Por ello es necesario dimensionar los alcances que se puede obtener del aerogenerador eólico, buscando todas las combinaciones posibles de materiales que ofrezcan un nivel de satisfacción o fiabilidad.

Una vez construido el prototipo se requerirá contar con un escenario propicio para poner en prueba el aerogenerador, comprobando el rendimiento del dispositivo para lograr su utilización a gran escala.

7. HIPÒTESIS SEGUN EL DISEÑO METODOLOGICO

De acuerdo al mapa eólico colombiano, las velocidades del viento en regiones específicas del departamento del Huila son adecuadas para obtener energía eléctrica a partir de un generador eólico.

Con base a esto se realizo una propuesta de prototipo de generador eolico de corriente continua, para aplicarlo a nivel regional aprovechando las conceptualizaciones de la Mecánica Rotacional, dinamica de fluidos, energia cinetica y las leyes del electromagnetismo.

El prototipo de generador eólico podría proporcionar la energía eléctrica necesaria para encender una lámpara de 12 voltios, aprovechando eficientemente la energía cinética del viento para transformarla en un flujo de corriente continua

El sector al norte del huila (la legiosa de colombia) , es el sitio donde el recurso eolico es el indicado para efectuar este montaje, presentando velocidades persistentes en un rango de 5.0 m/s [5] este registro permite postular que es viable aprovechar la energia eolica en el Departamento del Huila.

8. MARCO TEÒRICO

Para las diferentes conceptualizaciones relacionadas con el diseño y elaboración del prototipo de aerogenerador eólico, se incluyen las leyes y principios de la Física que se van a usar. Las leyes y principios incluyen la Dinámica Rotacional, la Dinámica de fluidos y las leyes del Electromagnetismo.

8.1. Principio de Bernoulli:

El estudio de la dinámica de los fluidos fue denominado “*Hidrodinámica*”, por el físico Suizo Daniel Bernoulli, quien en 1738 encontró la relación fundamental entre la presión, la altura y la velocidad de un fluido ideal. El teorema de Bernoulli demuestra que estas variables no pueden modificarse independientemente una de la otra, sino que están determinadas por la energía mecánica, cinética más potencial, del sistema.

8.1.1. Formulación de la ecuación

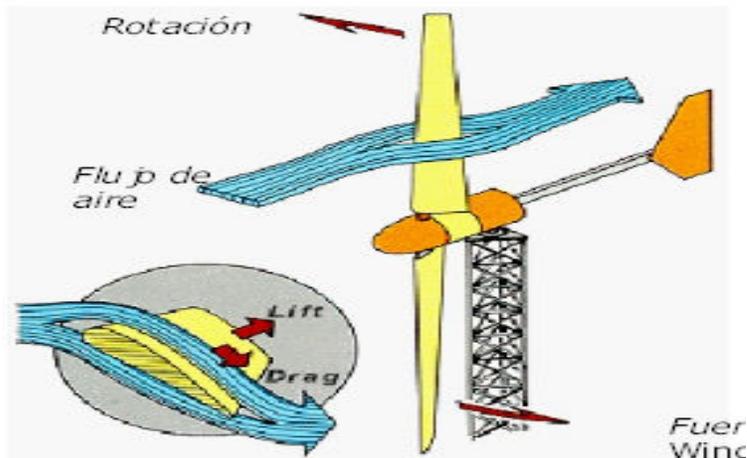
La ecuación de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido ideal y es un enunciado de la ley de la conservación de la energía. El teorema expresa que la suma de la energía cinética por unidad de volumen, la energía potencial por unidad de volumen y la presión absoluta en un punto de un tubo de flujo es constante. En forma simbólica el principio se expresa como:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constante} \quad (1)$$

En donde P es la presión absoluta, ρ la densidad del fluido, v es la velocidad del fluido en el punto en cuestión, g la aceleración debida a la gravedad y h la altura del punto medida con respecto a algún nivel de referencia.

8.1.2. Aplicabilidad

Figura 1 . Principio aerodinámico en la turbina de un generador eólico



El teorema se aplica al flujo sobre superficies, como las alas de un avión o las hélices de un barco. Las alas están diseñadas para que obliguen al aire a fluir con mayor velocidad sobre la superficie superior que sobre la inferior, por lo que la presión sobre esta última es mayor que sobre la superior. Esta diferencia de presión proporciona la fuerza de sustentación que mantiene al avión en vuelo. Una hélice también es un plano aerodinámico, es decir, tiene forma de ala. En este caso, la diferencia de presión que se produce al girar la hélice proporciona el empuje que impulsa al barco. El teorema de Bernoulli también se emplea en las toberas, donde se acelera el flujo reduciendo el diámetro del tubo, con la consiguiente caída de presión. Asimismo se aplica en los caudalímetros de orificio, también llamados *venturi*, que miden la diferencia de presión entre el fluido a baja velocidad que pasa por un tubo de entrada y el fluido a alta velocidad que pasa por un orificio de menor diámetro, con lo que se determina la velocidad de flujo y, por tanto, el caudal.

el efecto Bernoulli es el origen de la sustentación de los aviones. Gracias a la forma y orientación de los perfiles aerodinámicos, el ala es curva en su cara superior y está angulada respecto a las líneas de corrientes incidentes. Por ello,

las líneas de corriente arriba del ala están más juntas que abajo, por lo que la velocidad del aire es mayor y la presión menor; al ser mayor la presión abajo del ala, se genera una fuerza neta hacia arriba llamada sustentación. [6]

8.2. Principio de Conservación de la Energía:

Esta Ley es una de las leyes fundamentales de la física y su fundamento radica en que la energía no se crea, ni se destruye, únicamente se transforma (Einstein demostró que la masa y la energía son equivalentes. No obstante; el tratamiento del generador eólico no se encuentra dentro del marco de la física relativista).

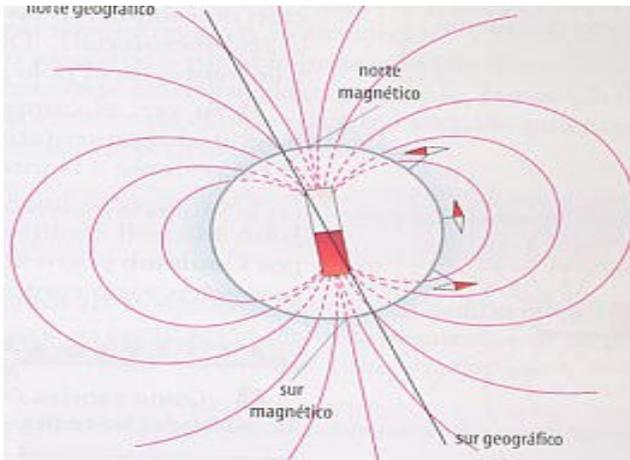
La ley de conservación de la energía implica que:

- 1.-No es posible obtener energía del espacio vacío.
- 2.-No existe mecanismo que haga desaparecer la energía.
- 3.-Si se observa que alguna cantidad de energía varía en un sistema físico, se atribuye dicho cambio a un intercambio de energía con algún otro sistema o con el medio circundante.

Existe una distinción general entre los sistemas físicos, considerando dos categorías de fuerzas: fuerzas conservativas y no conservativas. La fuerza conservativa solo depende de las posiciones inicial y final del sistema, siendo independiente de la trayectoria elegida para buscar los cambios de posición de un objeto. Son fuerzas conservativas la fuerza de gravedad y la fuerza elástica ejercida por un resorte. La fuerza no conservativa depende de la trayectoria, o del camino usado, para transportar un objeto. Un ejemplo de fuerza no conservativa es la fuerza de rozamiento. [7]

8.3 Principios o Leyes del Electromagnetismo:

Figura 2. *Corriente eléctrica circulando por un elemento conductor crea a su alrededor un campo magnético similar al de un imán.*



En el Electromagnetismo se tiene partículas puntuales caracterizadas por una "carga eléctrica", que puede ser positiva o negativa. Cargas de igual signo se repelen y cargas de distinto signo se atraen (Ley de Coulomb). La base del electromagnetismo corresponde al concepto de "Campo Electromagnético" y a las cuatro Ecuaciones de Maxwell.

En la formulación teórica del Electromagnetismo, el concepto de Fuerza es sustituido por el concepto de "Campo". Desde este punto de vista se infiere que las cargas eléctricas modifican el espacio que las circunda, independiente de que haya o no otra carga que pueda percibir estas modificaciones. Por otro lado, las cargas en movimiento (corrientes eléctricas) crean "Campos Magnéticos".

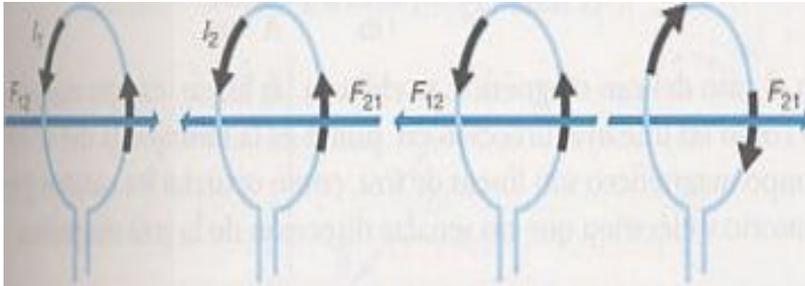
Como el movimiento es relativo, por lo que toda carga puede ser percibida como una corriente, de modo que lo que realmente importa es el Campo "Electromagnético".

La conexión entre la electricidad y el magnetismo fue puesta de manifiesto, en el siglo XIX, por Oersted, quien observó que la corriente eléctrica circulando por un elemento conductor crea a su alrededor un campo magnético, similar al de un imán. Ampere aportó la idea de que el magnetismo natural, puede estar producido por pequeñas corrientes a nivel molecular. Faraday en 1821, desarrolló ideas sobre la teoría de campos y comprobó que campos magnéticos variables con el tiempo originan campos eléctricos. Maxwell, en 1860, indicó que se podían

crear campos magnéticos a partir de campos eléctricos variables con el tiempo, usando las propiedades de simetría de la naturaleza.

8.3.1 Ley de Ampere:

Figura 3. Entre dos conductores circulares paralelos, se producen fuerzas de atracción, si las corrientes tienen el mismo sentido y de repulsión si tienen sentido contrario.



Ampere comprobó que al acercar dos conductores paralelos, por los que circulan corrientes de intensidades grandes, se generan fuerzas entre ellos, que son de atracción si las corrientes tienen el mismo sentido y de repulsión, si las corrientes tienen sentido contrario. Si deja de haber corriente desaparecen las fuerzas.

Entre dos conductores circulares (espiras) paralelos, recorridos por sendas corrientes, se producen fuerzas de atracción, si las corrientes tienen el mismo sentido y de repulsión si tienen sentido contrario.

8.3.2 Ley de Ohm:

Figura 4. Circuito con una resistencia y una pila.



La corriente continua es un movimiento de electrones. Cuando los electrones circulan por un conductor, encuentran una cierta dificultad al moverse. A esta "dificultad" del paso de la corriente eléctrica por un conductor se le denomina Resistencia eléctrica.

La ley de Ohm relaciona el valor de la resistencia eléctrica de un conductor con la intensidad de corriente que lo atraviesa y con la diferencia de potencial entre sus extremos. En el gráfico vemos un circuito con una resistencia y una pila. Observamos un amperímetro que medirá la intensidad de corriente, I . El voltaje que proporciona la pila V , expresada en voltios, la intensidad de corriente, medido en amperios, y el valor de la resistencia en ohmios, se relacionan por la ley de Ohm. [8].

La ley de Ohm en forma simbólica se puede escribir como:

$$V=IR$$

En donde V es la diferencia de potencial, I la intensidad de la corriente eléctrica y R la resistencia eléctrica.

8.3.3 Ley de Faraday

figura 5 . *espira metálica con un galvanómetro. Al aproximar un imán a la espira metálica se observa que la aguja del galvanómetro se mueve.*



Faraday realizó el siguiente experimento. Tomó una espira metálica y un galvanómetro. Al aproximar un imán a la espira metálica observó que la aguja del galvanómetro se movía. Si no se mueve el imán, la aguja del galvanómetro marca 0 voltios. Al alejar el imán, la aguja del galvanómetro se mueve en sentido contrario, y si se separa completamente, la aguja vuelve al cero. Por ende, se concluye de que "un campo magnético en movimiento produce un flujo de corriente eléctrica". [9]

8.4 Energía Eólica

La energía eólica o proveniente del viento, se usó inicialmente para impulsar los barcos a vela. Posteriormente, la fuerza del viento fue utilizada para mover las aspas de los molinos. Los altos precios del petróleo, sus desventajas como contaminante, y la mala noticia de que este combustible está agotando sus reservas, han propiciado la atención de los expertos en nuevas energías renovables. Entre estas, la energía eólica destaca por ser totalmente limpia, es decir, no contaminante.

La energía eólica, es natural e inagotable y propicia para frenar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura y puesta a punto. Es la energía obtenida del viento, o sea, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

El uso del viento para la producción eléctrica, se ha estado extendiendo rápidamente en años recientes, debido en gran parte a las mejoras tecnológicas, las necesidades de la industria y una creciente preocupación por las emisiones asociadas a la quema de combustibles fósiles. Todavía hay mucho lugar para crecer, pues solamente una porción pequeña del recurso utilizable del viento está siendo aprovechada. Mediante las regulaciones a la industria eléctrica, así como con incentivos por parte de los gobiernos, desempeñan un importante papel determinante en cuanto rápidamente se adoptará la energía eólica. Las políticas eficaces ayudarán a allanar el camino y asegurarán de que la energía eólica pueda competir con otras fuentes de energía, en el mercado de la electricidad.

Al contrario de lo que ocurre con las energías convencionales, la energía eólica no produce ningún tipo de alteración sobre los acuíferos ni por consumo, ni por contaminación por residuos. La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, no contribuye al efecto invernadero, no destruye la capa de ozono, tampoco crea lluvia ácida. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes.

Cada Kwh. (Kilovatio-hora) de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita:

0,60 Kg. de CO₂ (Dióxido de carbono).
1,33 gr. de SO₂, (Dióxido de azufre.)
1,67 gr. de NO, (Oxido de nitrógeno).

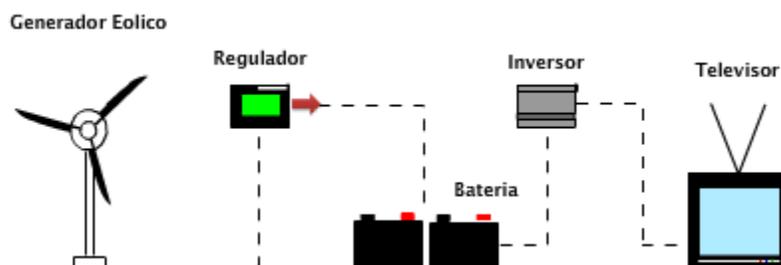
La electricidad producida por un aerogenerador evita que se quemen diariamente miles de litros de petróleo, y miles de kilogramos de lignito negro, en las centrales térmicas. Ese mismo generador produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1.000 Kg. de petróleo. Al no quemarse esos Kg. de carbón, se evita la emisión de 4.109 Kg. de CO₂, lográndose un efecto similar al producido por 200 árboles. Se impide la emisión de 66 Kg. de dióxido de azufre -SO₂- y de 10 Kg. de óxido de nitrógeno principales causantes de la lluvia ácida.

La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable. Al finalizar la vida útil de la instalación, el desmantelamiento no deja huellas. [10]

8.4.1. ¿Que es un Aerogenerador?

A continuación se presentan conceptos sobre sistemas de aerogeneradores, tanto en su definición como en el funcionamiento de sus partes:

Figura 6. erogenerador casero de 12v



Un generador eólico es una maquina, cuya función es la de transformar la mayor parte de la energía proveniente del viento en otro tipo de energía útil. En la mayor parte de los casos prácticos, esta energía útil es eléctrica. Al chocar el aire sobre las aspas oblicuas del aerogenerador, la energía cinética del viento se convierte en energía mecánica. La energía mecánica a su vez es transformada en energía eléctrica, mediante un aerogenerador.

Es importante resaltar que debido a los últimos avances tecnológicos, los aerogeneradores han ido avanzando en su eficiencia y disminuyendo su precio. Una muestra de este mejoramiento es el avance electrónico logrado por la inteligencia artificial en algunos modelos, y esto repercute en la mayor capacidad de captación de la energía del viento disponible.

Los aerogeneradores presentan ventajas y desventajas [11]

Algunas ventajas de los Aerogeneradores

- Menor contaminación del medio ambiente en relación a otras fuentes de energía.
- Se trata de instalaciones móviles, cuyo desmantelamiento permite recuperar totalmente la zona para otros usos.
- Rápido tiempo de instalación, implementación e integración del servicio (inferior a 6 meses).
- Su instalación es compatible con otros muchos usos del suelo.

Algunas Desventajas de los Aerogeneradores

- Su instalación genera una alta modificación del paisaje.
- Impacto sobre la avifauna: principalmente por el choque de las aves contra las palas, efecto desconocido sobre modificaciones de los comportamientos habituales de migración y anidación.
- Impacto sonoro: el roce de las palas con el aire produce un ruido constante (alrededor de 43 dB), la mas cercana deberá estar al menos a 200m.

8.4.2. Diferentes tipos de Aerogeneradores

Los aerogeneradores desde sus orígenes han sufrido variaciones en su construcción, al adaptarse a los medios materiales y tecnológicos de la época. Los aerogeneradores se pueden clasificar de muchas maneras, sin embargo en el presente trabajo se describirán únicamente dos formas de hacerlo.

Clasificación Según la Posición del Eje:

8.4.2.1. Aerogeneradores de Eje Horizontal:

figura 7. Aerogenerador con rotor de eje horizontal



La mayor parte de la tecnología actual se refiere a aerogeneradores de eje horizontal. La razón por la cual todos los aerogeneradores comerciales conectados a la red se construyen actualmente con un rotor tipo hélice de eje horizontal (es decir, de eje principal horizontal), es que la potencia generada por estos es mayor que la generada por los de eje vertical. El movimiento de rotación se origina por la incidencia del viento sobre las palas orientadas con un cierto ángulo respecto del aerogenerador. La fuerza del viento se descompone en dos vectores, uno axial que tiende a empujar al aerogenerador y otro tangencial que es el que hace girar el aerogenerador. Por supuesto, la finalidad del rotor es la de convertir el movimiento lineal del viento en energía rotacional que pueda ser utilizada para que funcione el generador.

8.4.2.2. Aerogeneradores con Planta Vertical:

figura 8. Aerogenerador con rotor de eje vertical



Los aerogeneradores de eje vertical son apenas capaces de mejorar la eficacia una turbina mediana de tipo hélice. La única turbina de vertical que ha sido comercialmente fabricada a todos los volúmenes es la maquina Darrieus. El diferente diseño de Darrieus tenia dos aspas de aluminio, las cuales están ensambladas por un tubo metálico por la parte inferior y superior de las aspas, esto le da un aspecto de batidora (de ahí otro de sus nombres).

Las principales desventajas de una maquina de eje vertical son:

1. Las velocidades del viento cerca del nivel del suelo son muy bajas. Por lo que, a pesar de que puede ahorrarse la torre, sus velocidades de viento serán mínimas en la parte inferior de su rotor.
2. La eficiencia promedio de las maquinas de eje vertical no es impresionante. Dicho en otras palabras, no compiten con la eficiencia de las de eje horizontal.
3. La maquina no es de arranque automático; es decir, una maquina Darrieus necesitara un “empuje” antes de arrancar..
4. la máquina puede necesitar cables tensores que la sujeten, y esta solución no es práctica en áreas muy cultivadas.
5. Para sustituir el cojinete principal del rotor se necesita desmontar el rotor, tanto en las maquinas de eje horizontal como en las de eje vertical.

Algunas ventajas teóricas del eje vertical son:

1. Puede situar el generador, el multiplicador, etc. En el suelo, y puede no tener que necesitar una torre para la maquina.

2. No necesita un mecanismo de orientación para girar el rotor en contra del viento.

8.4.3. Clasificación según el Número de Palas.

8.4.3.1. Monopala (1 sola aspa)

figura 9. Aerogenerador con rotor de una sola aspa



Los aerogeneradores monopala si existen, y de hecho, ahorran el costo de otras palas. Idealmente se obtendría mayor rendimiento cuanto menor sea el número de palas. Esto es debido a que la estela que deja una pala es recogida por la pala siguiente, lo que hace que este se frene. Aunque idealmente el aerogenerador de una única pala sería el de mayor rendimiento, este tiene un par de arranques.

8.4.3.2 Bipala (oscilante/basculante)

figura 10. Aerogenerador con rotor de dos aspas



Los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el coste de una pala y, por su puesto, su peso. Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida. Esto supone una desventaja tanto en lo

que respecta al ruido como al aspecto visual. Últimamente, varios fabricantes tradicionales de máquinas bipala han cambiado a diseños tripala. [12]

8.4.3.3. Tripalas

La mayoría de aerogeneradores modernos tienen diseños tripala, con el rotor a barlovento (en la cara de la torre que da al viento), usando motores eléctricos en su mecanismo de orientación. A este diseño se le suele llamar el clásico "concepto danés", y tiende a imponerse como estándar al resto de conceptos evaluados. [13]

figura 11. Aerogenerador con rotor de tres palas



8.5 Descripción y Funcionamiento del Generador Eólico

8.5.1. Partes Individuales

8.5.1.1 Rotor

figura 12. Rotor de un erogenerador de eje horizontal usado en los parques eolicos



Al decir rotor nos referimos al rotor eólico o conjunto de palas que giran sobre un eje perpendicular, que también rota sobre ellas, es la parte principal de una maquina eólica.

La función del rotor es la de transformar la energía cinética del viento en mecánica utilizable, para que el aerogenerador pueda funcionar. Generalmente las aspas están hechas de un material de fibra de vidrio con poliéster, estas se encuentran aerodinámicamente construidas y ensambladas con cierto ángulo de inclinación, para que puedan captar el viento de la manera más eficiente.

El numero de palas puede variar desde rotores que tienen una sola pala que debían llevar un contrapeso al eje, hasta los llamados multipalas con una docena de palas o mas. [14]

Una vez en movimiento, el rotor mueve el eje principal que a su vez está conectado al tren de conversión mecánica. Se dice que en las aspas radica la

potencia del aerogenerador, porque de ellas se sabe la cantidad de energía que es capaz de producir.

8.5.1.2 Torre

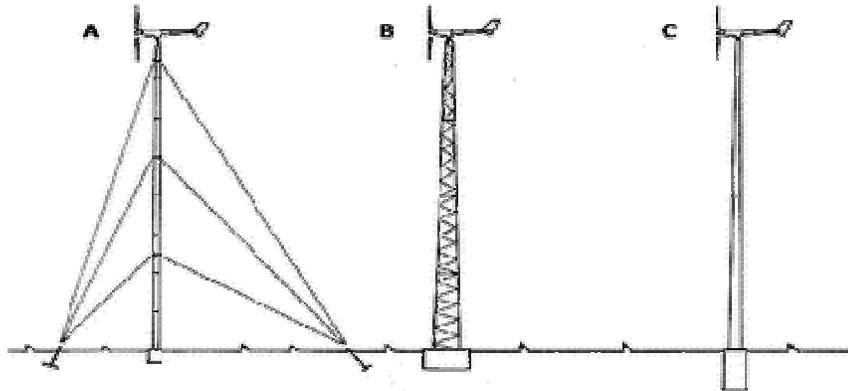
La torre es importante su construcción por varias razones:

1. **Su altura.** El aerogenerador debe estar situado por encima de las perturbaciones causadas por el terreno. La instalación de la torre en nuestro terreno no será necesariamente muy alta, debido a la peculiaridad de la configuración geográfica en esta zona.
2. **Su frecuencia.** Cualquier máquina giratoria es siempre asiento de vibraciones; es por tanto, esencial que la frecuencia propia de la torre sea muy diferente a la frecuencia de las vibraciones (fundamentales y armónicas), engendradas por el aerogenerador.
3. **Mantenimiento.** El acceso a la torre debe ser fácil para su buen mantenimiento. En nuestro caso la torre tubular es la que mejores bondades presenta.
4. **Robustez.** La torre deberá resistir las sobrecargas producidas, como son: esfuerzos ocasionados por funcionamiento anormal, ráfagas de viento, y turbulencias. [15]

8.5.1.3 Tipos de torres:

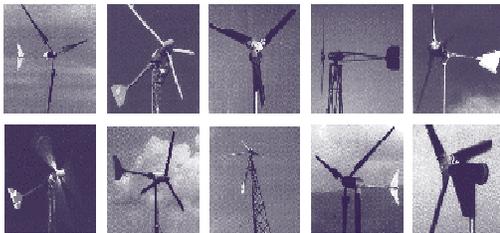
Las torres más encontradas son las autoportantes y las atirantadas o con tensores, las tubulares y las de celosía. Los tensores son generalmente indeseables por ser vulnerables a accidentes y daños; además, no son agradables a la vista. Las torres autoportantes son las más preferidas, pero están sometidas a mayores tensiones, son más pesadas y más caras que las atirantadas. Finalmente, la más frecuente es la tubular con tensores. Estas deben ser capaces de resistir las fuerzas máximas que aparecen durante el izaje y las tormentas .[16]

figura 13. Las torres más frecuentes son las autoportantes y las atirantadas o con tensores (A), las de celosía (B) y las tubulares (C).



8.5.1.4 Sistema de orientación (veleta)

figura 14. El sistema de orientación de casi todos los aerogeneradores pequeños es por veleta de cola.



Todos los aerogeneradores de eje horizontal tienen un cojinete alrededor del cual gira y se coloca de frente al viento. A la línea vertical que pasa por este cojinete se le conoce como eje de orientación. Debido a las pequeñas dimensiones, los pequeños aerogeneradores no tienen espacio para instalar los mecanismos de transmisión y los motores eléctricos que orientan al rotor de frente al viento, presentes en los grandes aerogeneradores. Por esto, el sistema de orientación de estos pequeños aerogeneradores es por veleta de cola, excepto en los modelos a sotavento (o de espalda al viento), que no la necesitan. Aparecen las veletas tanto de forma recta horizontal, como elevada con respecto al eje de rotación del rotor.

La veleta se coloca al final de un brazo. Ésta captura el viento y aparece una fuerza lateral resultante sobre la veleta, que actúa sobre el brazo que hace girar la máquina sobre el eje de orientación para colocarla de frente al viento. El momento

producido por la veleta es simplemente la fuerza lateral multiplicada por la longitud del brazo. La fuerza lateral depende del área de la veleta y de la velocidad del viento al cuadrado. Como regla simple se puede asumir que la longitud del brazo debe ser igual a la longitud de la pala del rotor. El área de la veleta no debe ser menor que 3% del área de barrido del rotor. [17]

8.5.1.5 Generador Eléctrico (la dinamo)

Un generador es un aparato que “fabrica” electricidad. **Los Motores y generadores eléctricos**, son un grupo de aparatos que se utilizan para convertir la energía mecánica en eléctrica, o a la inversa, con medios electromagnéticos. A una máquina que convierte la energía mecánica en eléctrica se le denomina generador, alternador o dinamo.

La máquina dinamoeléctrica más sencilla es la dinamo de disco desarrollada por Faraday, que consiste en un disco de cobre que se monta de tal forma que la parte del disco que se encuentra entre el centro y el borde quede situada entre los polos de un imán de herradura. Cuando el disco gira, se induce una corriente entre el centro del disco y su borde debido a la acción del campo del imán. El disco puede fabricarse para funcionar como un motor mediante la aplicación de un voltaje entre el borde y el centro del disco, lo que hace que el disco gire gracias a la fuerza producida por la reacción magnética.

El campo magnético de un imán permanente es lo suficientemente fuerte como para hacer funcionar una sola dinamo pequeña o motor. Por ello, los electroimanes se emplean en máquinas grandes. Tanto los motores como los generadores tienen dos unidades básicas: el campo magnético, que es el electroimán con sus bobinas, y la armadura, que es la estructura que sostiene los conductores que cortan el campo magnético y transporta la corriente inducida en un generador, o la corriente de excitación en el caso del motor. La armadura es por lo general un núcleo de hierro dulce laminado, alrededor del cual se enrollan en bobinas los cables conductores. [18]

Figura 15. Dinamo de bicicleta antigua



Generadores de corriente continúa

Los generadores de corriente continua se clasifican según el método que usan para proporcionar corriente de campo que excite los imanes del mismo. Un generador de excitado en serie tiene su campo en serie respecto a la armadura. Un generador de excitado en derivación, tiene su campo conectado en paralelo a la armadura. Un generador de excitado combinado tiene parte de sus campos conectados en serie y parte en paralelo. Los dos últimos tipos de generadores tienen la ventaja de suministrar un voltaje relativamente constante, bajo cargas eléctricas variables. El de excitado en serie se usa sobre todo para suministrar una corriente constante a voltaje variable. Un magneto es un generador pequeño de corriente continua con un campo magnético permanente

8.5.1.6 Baterías

Batería, eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, se le denomina al dispositivo que almacena energía eléctrica, usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Se trata de un generador eléctrico secundario; es decir, un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga. [19]

9. METODOLOGIA

El procedimiento usado para llevar a cabo este estudio dispone de varias secuencias enlistadas así:

1. Búsqueda y recolección de material bibliográfico sobre las energías alternativas y más específicamente la energía eólica. Se hace una indagación sobre investigaciones sobre creaciones en torno a diseños de dispositivos eólicos, captación de la energía eólica y su transformación. Se accedera información disponible en la red , en las universidades del país y del exterior donde existen grupos especializados de investigación en esta área.
2. Revisión sobre los principios físicos involucrados en el diseño, construcción y puesta en funcionamiento del prototipo de aerogenerador.
3. Elaborar hipótesis acerca del diseño.

En la segunda fase se organizara la información recolectada para tener posibles materiales con los que se trabajara en la construcción del generador; y seguidamente se dispondrà del material escogido para plantear posibles hipótesis sobre el modelo más satisfactorio del prototipo.

Una vez diseñado el modelo de aerogenerador , se procederá a la construcción y prueba del dispositivo; con sus respectivas características con torno al área en donde se experimentará.

Por último, se divulgará la experiencia de la construcción del prototipo, por medio de un artículo para ser enviado a publicación en la revista PAIDEIA, de la Universidad Surcolombiana

10. ALCANCES Y LIMITACIONES

El proyecto sobre **Energía Solar** se encuentra enfocado en la capacitación de los estudiantes y personas que pertenezcan a la universidad en lo que respecta a la utilización de formas adecuadas de energía, a un uso racional, y a al empleo de nuevas formas de energía que beneficien al planeta.

Nuestro planeta afronta una terrible situación ambiental, en lo que tiene que ver con el calentamiento global, razón por la cual lo que buscamos con este proyecto es incorporar al diario vivir nuevas formas energéticas que ayuden a disminuir el daño ambiental que le hemos causado por años a la tierra, con la manera indiscriminada de empleo para las distintas actividades que el hombre desempeña de los combustibles fósiles.

Por lo cual este proyecto tiene una visión muy amplia a futuro; se requiere crear escenarios que propicien que las personas a través de este proyecto se concienticen con lo que realmente representa y el papel tan trascendental que tiene la energía para que trabajen conjuntamente en generar nuevas formas de energía que ayuden a mantener la estabilidad y el equilibrio del planeta.

Este proyecto se encuentra enfocado a la capacitación de los estudiantes y docentes de la universidad sobre el tema **Energía renovables**; por medio de el se pretende que las personas reflexionen sobre el momento de impacto ambiental que vive el planeta; y que la mejor manera de reducir los daños que el uso en exceso de combustibles fósiles viene originando; es mediante el empleo de energías alternas que garanticen un empleo idóneo de las fuentes energéticas.

Como limitaciones nuestro proyecto puede tener; la falta de escenarios propicios para poner en practica nuestro proyecto; los cuales pueden generar que su puesta en marcha tenga contratiempos y demoras; que pueden perjudicar los resultados que se esperen obtener a través de este proyecto, también la búsqueda del material y la bibliografía necesaria para llevar a consecución el estudio sobre **Energía Renovable** y el tiempo estipulado el cual puede ser no suficiente para obtener resultados satisfactorios.

11. CRONOGRAMA DE TRABAJO

actividades	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero
revisión bibliográfica	X	X	X				
construcción de hipótesis sobre el prototipo				X			
elaboración del prototipo					X		
Puesta en marcha					X	X	
sustentación del trabajo realizado							X

12. RECURSOS MATERIALES

Materiales para la Construcción de la Aerogenerador Eólico

- 1 Platina de hierro de 30 cm de largo, 24 cm ancho y 1.2 cm de calibre
- 1 Tubo galvanizado de 10 cm de largo, 2.3 cm de radio, 0.2 cm de calibre
- 1 Tubo galvanizado de 98 cm de largo, 1.8 cm de radio, 0.2 cm de calibre
- 1 Tubo galvanizado de 108 cm de largo, 1.5 cm de radio, 0.2 cm de calibre
- 1 Tubo de PVC de 3" con 41.5 de largo
- 1 Tubo de PVC de 6" con 50 cm de largo
- 1 juego de copas de bicicleta con balinera
- 1 Plataforma metálica de radio 7 cm, grosor de 0.1 cm
- 1 Plataforma acrílica de radio 7 cm, grosor de 0.2 cm
- 1 varilla de $\frac{1}{4}$ por 14 cm de largo
- 3 tornillos de 1" por $\frac{1}{4}$ con tuerca
- 6 tornillos de 1" por $\frac{5}{16}$ con tuerca guasa y arandela
- 1 Dinamo de bicicleta marca ELEPHANT 12v, 6w
- 1 batería de motocicleta 12 v marca Akita YV12V.C
- 1 copa de 21 mm por $\frac{1}{2}$ "
- 250 cm de cable blanco calibre 12
- 1 Lámpara de 12.v

13. DISEÑO DEL PROTOTIPO (DESCRIPCIÓN)

Siguiendo la línea de patentes de energías renovables, los últimos avances tecnológicos en aerogeneradores han ido mejorando sus eficiencias y disminuyendo su precio.

Descripción del generador:

El generador eólico es una máquina que transforma la energía mecánica, en eléctrica.

Los aerogeneradores se pueden clasificar de muchas maneras; sin embargo en la elaboración del prototipo se adaptaron materiales de fácil consecución y de una óptima resistencia.

13.1 Cimiento

El cimiento es la base sobre la que descansa el generador eólico, este cimiento garantiza la estabilidad de la turbina eólica cuando tenga que soportar fuerzas elevadas provenientes de cualquier turbulencia que se pueda presentar; o simplemente para soportar el peso de la turbina y de la torre para proveer la estabilidad necesaria.

Por tal motivo, en nuestro prototipo como cimiento se instaló una platina de hierro con un calibre de 1.2 cm, largo 30 cm, ancho 24 cm que pesa 12 Kg. Esta platina proporciona la resistencia para ayudar a distribuir los esfuerzos a los que está sometida la base de la torre.

Los cimientos pueden ser superficiales o profundos, dependiendo al tipo de suelo o de torre en la que se instalará la máquina. Para nuestro prototipo instalamos un cimiento superficial aprovechando las ventajas que este proporciona.

Un cimiento superficial no necesita de realizar excavaciones para instalar el aerogenerador, de manera que este diseño servirá para que la máquina pueda ser cambiada de lugar cuando la ocasión lo amerite. [20]

13.2 Mástil o torre de la eólica:

La torre del aerogenerador tiene que tener la resistencia suficiente para sostener gran parte de los materiales instalados:

Con base a esto utilizamos un tubo de 98 cm de altura, con un radio de 1.8 cm, y grosor de 0.3 cm en material galvanizado. Este material es un recubrimiento de hierro o acero con una capa de zinc, como protección a la corrosión.

Con base en diferentes indagaciones se llegó a la conclusión, que para que el prototipo de mástil pueda ser transportado con facilidad, se le instaló un tubo coaxial de menor diámetro, dentro del original, entonces se adoptó uno con dimensiones de 1m y 8 cm de altura, radio 1.5 cm, y grosor de 0.3 cm.

Para sujetar los tubos se incrustaron dos tornillos horizontalmente, de manera que se realice presión sobre el segundo mástil, con el fin de que cuando se extraiga el primer tubo, el tornillo permita que se mantenga la altura deseada.

Ilustración 1. *Detalle del tornillo incrustado en la torre vista horizontal*



Ilustración 2 *Detalle del tornillo incrustado en la torre, vista vertical*



La torre debe soportar el peso de la hélice, dínamo y la veleta, para poder sustentar el giro ocasionado por la fuerza del viento.

13.3 Plataforma:

La plataforma es la base donde se instala la dinamo, y la base de la veleta, estando conformada de los siguientes materiales:

Platina de hierro con un grosor de 0.1 cm y radio de 7.0 cm.

Esta plataforma se soldó a un juego de copas con balinera, para que generara rotación sobre su propia guía. La distancia a la que se instaló fue apropiada, proporcionada el equilibrio entre el peso de la dínamo y la veleta.

13.4 La Cola o Timón de la Eólica (veleta)

La veleta del prototipo debe tener el peso apropiado que soporte la fuerza del viento, y que permita su fácil movimiento, permitiendo su equilibrio con la turbina del prototipo. Las medidas que consideramos apropiadas para la veleta son:

Nuestra veleta está fabricada con tubo PVC, que previamente fue sometido a altas temperaturas tomando la forma de un triángulo alargado, y sus dimensiones son:

3.0 cm de altura en la parte delantera y 17 cm de altura en la parte trasera, 32 cm de largo y 0.3 cm de grosor.

13.5 La Dinamo:

Se optó por utilizar una dinamo de bicicleta, que normalmente tiene 12 voltios de diferencia de potencial. La dinamo de bicicleta es pequeña y cuenta con un inducido fijo, y un inductor central móvil, que es el que rota tomando el movimiento de la rueda. El inductor está constituido por un imán mono polar. La corriente generada por este dispositivo, es por lo tanto corriente continua.

Optamos por ubicarlo en la plataforma de platina, ajustada con una abrazadera y ubicada en forma centrada para hacer equilibrio con la veleta.

Es importante resaltar porque se utilizó este tipo de alternador, y no uno de automóvil: Un alternador de automóvil no es la mejor elección, para un aerogenerador porque tienen un pésimo rendimiento, raramente superarán el 50% de eficiencia; además, la dinamo de bicicleta dispone del voltaje adecuado para la puesta en marcha del mecanismo.

La dinamo que se usó es un motor que da suficiente tensión con poca frecuencia. No usaron motores con elevadas frecuencias y escasa tensión, debido a que no sirven para estas elaboraciones. Lo que se busca, para un aerogenerador eficiente, es un motor que suministre la diferencia de potencial adecuada al prototipo y con una frecuencia baja. El modelo elaborado tiene una dinamo de 12 voltio de tensión con una frecuencia de de 325 rpm [21]

13.6 ROTOR: El rotor incluye el buje y las aspas, es la parte principal de la máquina eólica.

13.6.1. Aspas:

Estas aspas se fabricaron con tubo de PVC, con una longitud de 41.5 cm; en su extremo mide 3.0 cm, y en la base 7.0 cm de ancho; se considera que estas son las medidas apropiadas para obtener un buen rendimiento.

Para la fabricación de las palas, se hizo necesario tener en cuenta los requerimientos técnicos basados en elaboraciones previas; también es conocido que las palas están sometidas a grandes esfuerzos, ello hace que sufran deformaciones debidas a flexión y torsión. Además están sometidas a una gran fatiga, debido a las grandes potencias que deben transmitir al eje.

Las palas de PVC se cortaron de una tubería de 160 mm de diámetro, adecuando un ángulo de 15°, a lo largo de la pala, con lo que se facilita su construcción y además parte con facilidad con suaves brisas. Es preferible que el

sistema gire durante mucho tiempo, aunque lo haga a pocas revoluciones, a que gire muy rápido los días que hace vientos fuertes quedándose detenido el tiempo adicional.

En la construcción de las aspas se marcó y cortó el tubo en cuatro piezas iguales. Se cortó una y se usó como guía para las demás, limando los bordes; finalmente, se terminó con 4 palas, tres para emplearlas en el aerogenerador y una de repuesto. Para mejorar la aerodinámica se limaron los bordes, como cuchillas, para que “corten” el viento y se tenga una menor resistencia.

13.6.2. Buje o Base de las Aspas:

El siguiente paso consistió en unir las aspas al motor, para ello se corto un cascarón esférico acrílico de 0.3 cm de grosor y radio de 7.0 cm.

El material se seleccionó por ser liviano y de fácil consecución. La rueda se encajó en el eje del motor, instalando 1 copa de 21 mm por $\frac{1}{2}$ ”, haciendo expansión entre el motor y el buje.

Ilustración 3. *Eje del motor con punta de rosca y tuerca para ejercer presión al centro de las aspas.*



El acrílico fue perforado para permitir instalar la copa, incluyéndose otros conductos al instalarse las aspas al buje. En total se elaboraron seis perforaciones, en donde se incrustaron 6 tornillos de 1" por 5/16, cada uno con su respectiva tuerca guasa y arandela.

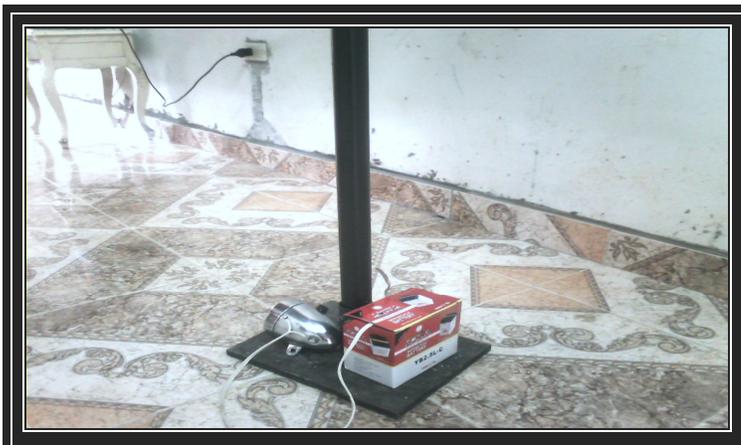
Ilustración 4 *Buje de material acrílico unido al eje del motor por medio de una copa metálica*



Al finalizar esta instalación, se comprobó que el rotor o turbina quedó bien ajustada, no presenta ningún tipo de desbalance. [22]

13.7 Batería

Ilustración 5 *Batería de motocicleta ubicada en la parte inferior de la torre conectada a la lámpara de 12 v.*



Las turbinas eólicas generan energía solo cuando hay viento, por lo que siempre se necesita una reserva de energía eléctrica disponible. La batería en el generador se instaló en la parte inferior cerca del cimiento. [23]

La batería que se consideró apropiada para el dispositivo, fue una de motocicleta con 12 voltios, marca Akita YV12V.C , pues ésta no requiere de constante mantenimiento y es de corriente continua, se conectó a través de un diodo para evitar su descarga cuando no se está usando.

Los cables de conexión, entre el generador y la batería, tienen la longitud y sección apropiadas para evitar grandes pérdidas por el efecto Joule: 250 cm de cable blanco, calibre 12.

La longitud del cable es muy importante, porque una menor longitud de él para conectar el generador y la batería evitará pérdidas de energía.

Ilustración 6. Cable blanco calibre 12, utilizado en la construcción del prototipo



13.8 Lámpara de 12 v

Ilustración 7. *Lámpara de 12v*



La lámpara que instalamos a nuestro prototipo es una lámpara de bicicleta antigua de 12v, conectados directamente a la batería, la lámpara nos indicará si el prototipo genera la electricidad suficiente para un óptimo rendimiento.

14. JUSTIFICACIÓN DEL DISEÑO

Para elegir el diseño adecuado en la construcción del prototipo, se llevaron a cabo las consultas bibliográficas: Textos de actualidad, pertenecientes al grupo de Física Teórica de la Universidad Surcolombiana; adicionalmente, en la red Internet se hallaron experiencias exitosas de grupos de personas que han optado por construir su propio generador eólico.

Después de coleccionar la información bibliográfica necesaria, se extrajeron las características para el diseño y construcción del generador eólico, las cuales son:

1. Un generador.
2. Aspas o palas.
3. Sistema de orientación hacia el viento (veleta).
4. Torre para elevar la turbina hacia la corriente de viento.
5. Baterías.

Cada una de estas características se analizó detalladamente, con el objeto de disponer de materiales y detalles técnicos de gran ayuda en la fabricación y puesta en funcionamiento del prototipo de aerogenerador.

14.1. Mástil o torre

La elaboración del prototipo se inició con la construcción de la torre, que es la base que soporta la dínamo, la veleta y la turbina. El diseño elegido tiene ventajas; una de ellas, quizás la más destacable, es la su fácil traslado entre distintos lugares.

La torre, de forma tubular, está hecha de material galvanizado. Este modelo de torre permite la seguridad en su instalación, facilitando labores de mantenimiento en la dínamo y la turbina.

Ilustración 8. Torre del prototipo. En la parte superior se aprecia la plataforma



La torre contiene dos secciones: dentro del tubo principal se incrustó un tubo coaxial, de menor diámetro; esta elaboración hace posible disponer de poca longitud del mástil, para facilitar su traslado entre diversos lugares.

Ilustración 9. Tubo coaxial incrustado dentro de un tubo de mayor diámetro



La torre está colocada sobre una base tubular, debidamente soldada en el cemento; adjuntamente, la parte posterior se une a un juego de balineras que reduce la fricción con el eje y la plataforma, facilitando la orientación de la turbina en la dirección deseable de marcha de las corrientes de viento.

Ilustración 10 *Plataforma unida al juego de balineras de la torre*



14.2. Cimiento

Ilustración 11 *.Cimiento del prototipo.*



Para la construcción de este elemento, es necesario disponer de un material con suficiente resistencia que soporte el peso del prototipo; y que al mismo tiempo, mantenga estático el prototipo soportando las ráfagas de viento, que se presentan durante su operatividad. Las consultas hechas con expertos, sobre estos aspectos, permitieron seleccionar una platina de hierro de 12 Kg, con las dimensiones y forma adecuada para resistir el peso del aerogenerador.

La estructura cuadrada proporciona a esta base una gran estabilidad y el equilibrio necesario para mantener firme al prototipo. La platina soporta el peso del aerogenerador, disponiendo de una pequeña estructura tubular de mayor diámetro que el mástil principal y un tornillo incrustado horizontalmente, de

manera que cuando se necesite transportar el prototipo, la torre y el cimiento puedan separarse, proporcionando una mayor comodidad de instalación.

Ilustración 12 .*Estructura tubular unido al cimiento*



14.3. Plataforma

Ilustración 13 . *Plataforma del prototipo*



La plataforma es la base que sostiene la dinamo, la veleta y la turbina. Para la elaboración de la plataforma se cortó una platina de hierro circular, con las dimensiones adecuadas que logran aguantar el peso de los demás componentes. Posteriormente se elaboró una abrazadera para fijar la dinamo a la plataforma.

14.4. Generador Eléctrico (Dinamo)

Las características principales de una turbina eólica pueden variar según el tipo de motor o generador que se le instale, normalmente los pequeños aerogeneradores trabajan con 12 voltios. Este voltaje se utilizó en el prototipo de aerogenerador que se fabricó y logró encenderse la lámpara como dispositivo de prueba.

Ilustración 14. *La dinamo unida a la estructura tubular que soporta el rotor*



La consulta bibliográfica arrojó el resultado de que hay personas que fabrican sus propios generadores para sus máquinas, algunos que usan la energía albergada en motores de imán permanente y otros tantos usan un generador. En el diseño y fabricación del aerogenerador, se utilizó un generador de 12 V, de poco peso, y de fácil consecución. La dínamo de bicicleta fue la solución: pequeño, liviano y disponible de manera fácil.

Antes de la instalación del generador se hicieron exhaustivas pruebas de su funcionamiento, para evitar posibles fallas de operación.

Ilustración 15. *Dinamo instalada en la plataforma sujeta con una abrazadera*



14.5. Sistema de orientación (veleta)

La consulta bibliográfica fue de gran ayuda en la construcción de la veleta. De acuerdo a lo documentado, todos los aerogeneradores de baja potencia cuentan con este tipo dispositivo, permitiendo su instalación , orientar el generador en la dirección de las corrientes de viento (barlovento). El prototipo elaborado tiene las especificaciones técnicas sugeridas en la literatura científica: El mismo material de las palas o aspas.

La veleta se construyó con un diseño de triángulo alargado horizontalmente y perpendicular a la torre, es válido resaltar que la forma no tiene demasiada relevancia para el generador. La veleta está fijada a una barra de hierro con una longitud de 14.0 cm y este a su vez, está soldado a la plataforma donde también se encuentra la dinamo; finalmente, la barra se sujeto a la veleta con dos prisioneros ajustables en el extremo de esta.

Ilustración 16 . *Veleta fijada a la barra de hierro soldada a la plataforma*



Se tiene el peso apropiado para equilibrarse con la turbina, de manera que el material que se empleó , proporcionó lo que se buscaba.

La veleta se ubica al final de un brazo, capturando el viento y produciendo una fuerza lateral, que actúa sobre el brazo haciendo girar la máquina sobre el eje de orientación para ubicarla de frente al viento.

Las medidas de la veleta se determinaron en base a detalles técnicos, contemplados en la consulta bibliográfica, utilizando la sugerencia de que su sección transversal no debe ser menor que 3% del área de barrido del rotor. El

prototipo presenta un área de barrido de 97 cm^2 y la veleta tiene una longitud de 32.0 cm.

La puesta en funcionamiento de esta veleta, no presentó modificaciones en materiales y en medidas.

14.6. Aspas o palas:

Las aspas para un aerogenerador deben tener las características de un ala de avión y cumplir con los mismos principios de sustentación y resistencia aerodinámica. Para la construcción de las aspas se debe seleccionar el diámetro del rotor, el tipo de perfil (sección transversal del aspa) y los materiales de fabricación. Hay diversos tipos de perfiles estandarizados para aplicaciones aerodinámicas como los Wortmann y los NACA. Para esta aplicación el perfil NACA 4412 es seleccionado debido a sus excelentes características estructurales. [24]

figura 16. Modelo aerodinámico tipo NACA 4412



El utilizar un perfil aerodinámico incrementa el rendimiento del sistema y reducirá considerablemente el ruido. Ello se debe a que estos perfiles disminuyen el rozamiento con el aire facilitando la rotación;

Este diseño es muy parecido a las alas de los aviones, la forma del perfil se muestra a continuación.

Ilustración 17 .Aspas del prototipo unido al buje acrílico



Este diseño se seleccionó por ser el mas adecuado para un óptimo rendimiento; el viento golpeará en primera medida el borde del aspa y lo hará con mayor velocidad en la parte de los extradós, al llegar encima del borde de salida se crea escasa turbulencia y esto le da mayor velocidad al viento, lo cual crea una menor presión en la parte de los entrados; esa diferencia de presión hace que se eleve la parte del borde de salida, creando con esto la rotación del aerogenerador.

El número de aspas elegidas para el prototipo fueron tres (tripala), la razón mas importante por las que se eligió este número de palas fue por la estabilidad que estas provocan sobre la turbina, un rotor con un número par de palas puede dar problemas de estabilidad a la maquina.

Un mayor número de palas no aumenta, necesariamente, la velocidad de giro, pero si el rendimiento de la eólica, tres aspas es la cifra apropiado para la frecuencia que se necesita en esta zona de operación.

Ilustración 18 .Parte superior del prototipo donde se encuentra el rotor, el generador y la veleta.



El diámetro del rotor es de 97.0 cm, esta medida es la que usan para casi todos los pequeños aerogeneradores. A mayor diámetro, menor velocidad de giro, lo que significa que el prototipo tendrá la velocidad de giro apropiada.

Como se muestra en la fotografía, el prototipo tiene eje horizontal y es a barlovento, lo que quiere decir que la maquina recibe el flujo de corriente del viento en las parte de las palas, esto tiene algunas ventajas a diferencia de los diseños a sotavento, evita las perdidas por fricción del viento, así como no modificar el viento y aprovecharlo a su máximo en un flujo que sea lo más laminar posible. La mayoría de los aerogeneradores poseen este diseño, teniendo como desventaja que necesita mecanismos de Orientación; pero para la solución de este problema se instalan las veletas.

Al prototipo se le instaló el rotor de eje horizontal, por ser este el diseño tradicional y el más aconsejado por los expertos, según los artículos consultados. Este eje presenta más ventajas que un eje vertical, el aerogenerador de eje horizontal origina mayor potencia que la generada por uno de eje vertical. El movimiento de rotación se crea por la incidencia del viento sobre las palas orientadas con un cierto ángulo respecto al aerogenerador.

14.6.1. Modificaciones de las aspas:

El rotor es la parte mas importante de un generador eólico, de él depende el buen funcionamiento y rendimiento del prototipo; por este razón, es la parte que más modificaciones presentó en su fabricación. Las aspas construidas con el material PVC, su longitud, y su ángulo son detalles técnicos extraídos de la consulta bibliográfica a la red internet [25].

Ilustración 19. *Diseño final de las aspas construido con tubo PVC*



En la puesta en marcha del prototipo se presentaron complicaciones relacionadas con el arranque del rotor, pues solo funcionaba cuando se le ejercía fuerza para que girara. Después de examinar los posibles errores que ocasionaba las complicaciones se solucionó el impase.

El rotor lo componen las aspas y el buje, estos dos componentes proporcionaron mayor peso que el estimado. Se develó que los causantes de este peso excesivo, eran los tornillos incrustados para fijar la pala al buje, 6 tornillos de 1" por 5/16 con tuerca guasa y arandela construida en acrílico, y a pesar de que parecían livianos no eran los adecuados para graduar el peso correspondiente.

Ilustración 20 . *Tornillos de 1" por 5/16 incrustados en el buje acrílico sosteniendo las aspas*



La solución propuesta por el director del trabajo de grado, Doctor Hernando González Sierra, fue el de reemplazar el primer rotor por uno más liviano, teniendo que efectuar los siguientes cambios:

Colocar un rotor tripala con un ángulo de inclinación de 35°, de una longitud de 30 cm, ancho base de 5.5 cm, extremo 3.0 cm y fabricado con un material plástico

de poliéster. Este tipo de material es capaz de soportar variaciones de temperaturas muy bruscas permaneciendo estable.

El nuevo tipo de rotor que instalamos a nuestro prototipo, tiene grandes ventajas uno de ellas es que el buje se adosa directamente a las palas, procedimiento que reduce considerablemente el peso del rotor propiciado que el viento lo active libremente.

Ilustración 21. *Aspas modificadas*



El montaje del rotor al aerogenerador presentó el problema más complicado en su instalación, ello debido a que el buje ya viene unido a las palas. Su instalación se realizó con debida la precaución, ya que un desbalance en el rotor reduciría las posibilidades de un óptimo rendimiento.

15. PUESTA EN MARCHA

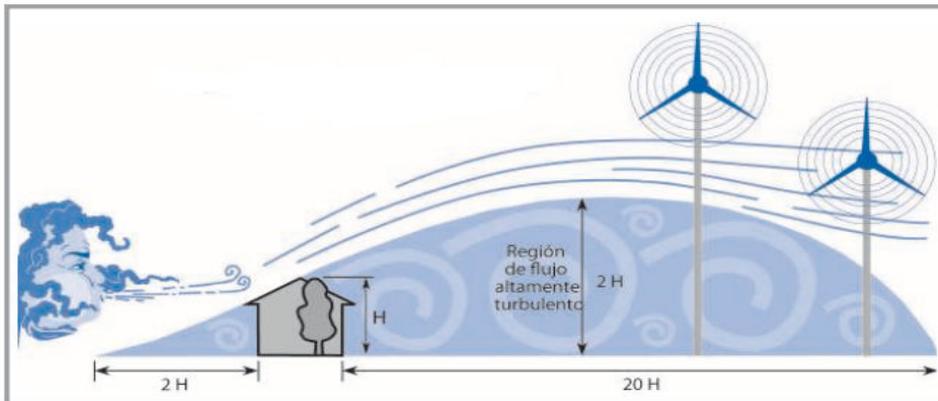
En la puesta en marcha del prototipo, buscamos un sitio con una altura lo suficientemente alta dentro de la ciudad de Neiva para que nuestro prototipo obtuviera el rendimiento adecuado; teniendo en cuenta que la velocidad del viento aumenta rápidamente con la altura, y se vuelve menos turbulento e incrementa su velocidad con la altura respecto al suelo [26]

Cerca del suelo, la velocidad es baja, aumentando rápidamente con la altura. Cuanto más accidentada sea la superficie del terreno, más frenará ésta al viento. Es por ello que sopla con menos velocidad en las depresiones terrestres y más sobre las colinas.

El sitio elegido para poner a prueba el prototipo fue la meseta llamada el Chaparro hoy conocida con el nombre de Buganviles; ubicada al nororiente de la ciudad de Neiva, comprendida por el norte con la calle 19 sur calle 15 oriente carrera 26 y al occidente la carrera 24 [27] con 56 metros de altura respecto al suelo plano, siendo esta medida la mas alta dentro de la ciudad de Neiva según planeación municipal .[28] Se ubico en zona urbana con sitio exacto calle 25 n. 15-15en el 2do piso.

A la hora de elegir el lugar del aerogenerador, fue importante tener en cuenta que el sitio no presentara obstrucciones de tipo natural como arboles o montañas, o de tipo físico como edificaciones; el viento al tropezar con obstaculos que encuentra en su camino, se frena y produce turbulencias. Un aerogenerador instalado en un lugar inadecuado se vera perjudicado por turbulencias y vientos flojos.

figura 17. Obstrucción del viento por un edificio o arbol



Por tal motivo el lugar elegido fue una vivienda de dos plantas, la única con esta característica a varios metros a la redonda y en la parte posterior de esta presenta una zona totalmente despejada, sitio donde se ubicò el prototipo.

Es fundamental determinar la intensidad del viento en el lugar donde se pretende montar la instalación eólica. Por tal razón los datos recopilados acerca de la velocidad del viento y demás, los tomamos directamente de la página del IDEAM [29] donde gracias a diferentes gráficas y a la rosa de vientos obtuvimos la información necesaria.

Siguiendo la secuencia del cronograma la culminación del prototipo fue en el mes de Noviembre del 2010 en este mismo mes se puso en marcha el inicio de las pruebas preliminares.

Según el IDEAM esta zona presenta vientos de 3.5 m/s a lo largo del año con variaciones de 4.2 hasta 4.5 m/s , que según la referencia internacional que clasifica y define cada tipo de viento en función de su velocidad.[30] Define que los vientos con velocidades de 3.4 - 5.2 se clasifica como fuerza tipo 3 con denominación leve. En el mes de noviembre generalmente la temperatura mínima está en 22°C la temperatura media en 26°C y temperatura alta de 32°C . Las precipitaciones en este mes son muy constantes con 250mm durante 19 días, más de la mitad de este mes. Estos datos nos permitieron comprobar que los vientos que obtuvimos en la puesta en marcha del prototipo fueron uno de los mejores a lo largo del año.

Para empezar las pruebas preliminares del prototipo, la eólica se ubico en un lugar plano que no presentara ningun tipo de desnivel y que estuviera distante a las personas que habitan en el hogar.

Tomando como primera medida la torre con 1 metro de alto sumándose la altura que tiene la vivienda respecto al suelo(3 metros). Como resultado el prototipo termina con 4 metros de altura en la primera prueba.

En esta puesta en marcha el rotor del prototipo se mantuvo estático por 42 segundos, empezando a girar lentamente hasta que alcanzò el número de resoluciones necesarias para que el prototipo pudiera producir 12 voltios en corriente continua ,transportada hacia la batería donde se almaceno para luego encender la lámpara instalada.

Para la segunda prueba del prototipo tomamos los 3 metros que tiene la vivienda mas los 2 metros que resulta en la torre al sacar el tubo coaxial del tubo principal , incrementar la altura de la torre puede duplicar la energia del viento disponible. estos 5 metros es la altura maxima que en esta puesta en marcha se pudo alcanzar .

Los resultados que obtuvimos fueron: el rotor se activo a los dos segundos despues de ubicarlo a esta altura con una rotación constante y uniforme generando las mismas resoluciones que logramos en la primera prueba produciendo los mismos 12 v necesarios para encender la lámpara.

La velocidad de arranque es la mínima velocidad del viento a la que las palas rotarán y generarán potencia utilizable; típicamente, está entre 3 y 4 m/s.

No hubo impacto acustico ni desnivelaciones por parte de la turbina. el generador y la bateria no presentaron ningun problema ni ninguna modificacion. Como resultado la puesta en marcha fue exitosa.

Ya que se obtuvo un aerogenerador de caracter domestico adaptable a distintos tipos de viviendas y que mostro ser resistente a diversas condiciones climaticas.

CONCLUSIONES

- Se dispone de un prototipo de aerogenerador de corriente continua, que puede ser replicado a gran escala para abastecer de energía eléctrica a sectores marginados de la región Surcolombiana.
- La concientización ciudadana acerca del uso adecuado de los recursos naturales debe originarse desde la educación básica, proponiendo proyectos educativos que redunden en beneficio de la sociedad.
- En el diseño, construcción y puesta en funcionamiento del aerogenerador se presentaron dificultades, que fueron superadas de manera exitosa.
- Aunque con la elaboración de este trabajo de grado no se resolverán problemas de abastecimiento de energía limpia en la región Surcolombiana; si es un logro importante, que servirá como cimiento para lograr que la clase dirigente se interese más en apoyar estos proyectos en los diversos niveles educativos.
- Con este ejercicio intelectual, aunque algo tedioso y de gran laboriosidad, se constata, una vez más, que la Física Aplicada tiene campos de acción no explorados. En los currículos de formación, sobre todo en Ciencias Naturales, y a nivel institucional, se omiten insensatamente estas necesidades de investigación formativa en la más fundamental de las Ciencias Naturales.

ANEXOS

Tabla 1. Tabla de Beaufort es la referencia internacional que clasifica y define cada tipo de viento en función de su velocidad.

FUERZA	Velocidad (m/s)	Velocidad (km/h)	Denominación
0	0 - 0.5	0 - 1	Calma
1	0.6 - 1.7	2 - 6	Ventolina
2	1.8 - 3.3	7 - 12	Suave
3	3.4 - 5.2	13 - 18	Leve
4	5.3 - 7.4	19 - 26	Moderado
5	5.7 - 9.8	27 - 35	Regular
6	9.9 - 10.4	36 - 44	Fuerte
7	12.5 - 15.2	45 - 54	Muy fuerte
8	15.3 - 18.2	55 - 65	Temporal
9	18.3 - 21.5	66 - 77	Temporal fuerte
10	21.6 - 25.1	78 - 90	Temporal muy fuerte
11	25.2 - 29	91 - 104	Tempestad
12	Más de 29	Más de 104	Huracán

figura 18. Rosa de vientos- Información aeronautica, regimen anual de viento de la ciudad de neiva

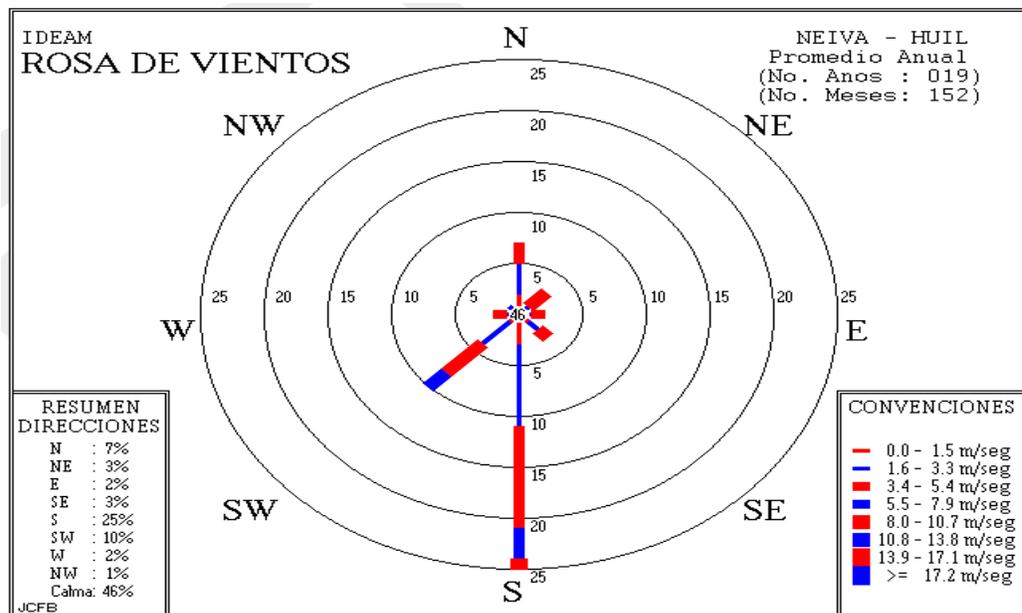


figura 19. Temperaturas media en e l año 2010 , segun el aeropuerto Benito Salas de la ciudad de neiva

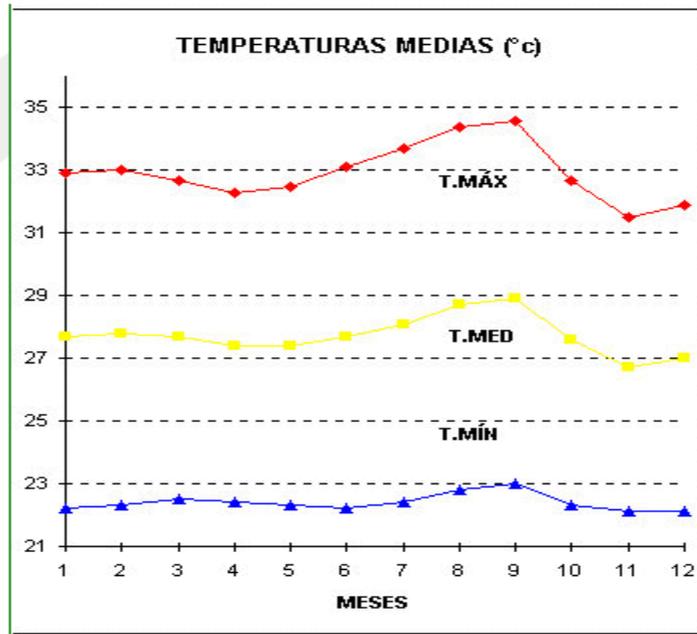


figura 20. Temperatura máxima absoluta del año 2010 en la ciudad de neiva

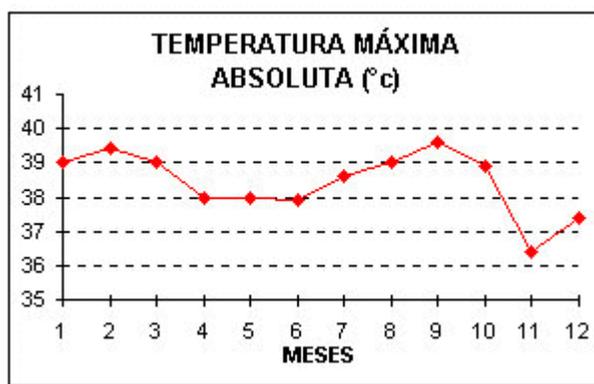


figura 21. Precipitacion (mm) segun el aeropuerto Benito Salas de Neiva

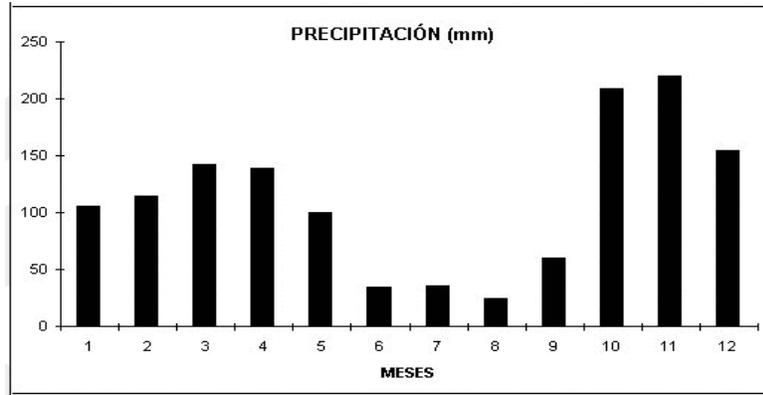


figura 22. Precipitacion por numero de dias segun el aeroport Benito Salas de Neiva

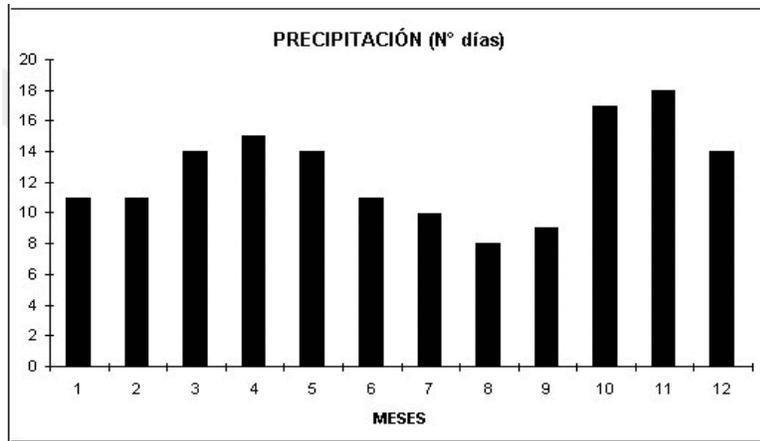


figura 23 .Localización de las estaciones pertenecientes a la red de referencia seleccionada para el Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia.



figura 24 .Catálogo de estaciones seleccionadas para el Atlas de Viento y Energía Eólica.

NOMBRE ESTACIÓN	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD
PARQUE ARQ. SAN AGUSTÍN	HUILA	SAN AGUSTÍN	01°51'N	76°18'W
RESINA	HUILA	GUADALUPE	01°56'N	75°42'W
ESC. AGR. LA PLATA	HUILA	LA PLATA	02°25'N	75°55'W
HIDROBETANIA	HUILA	PALERMO	02°45'N	75°24'W
LOS ROSALES	HUILA	CAMPOALEGRE	02°37'N	75°25'W
APTO. BENITO SALAS	HUILA	NEIVA	02°58'N	75°18'W
SAN ALFONSO	HUILA	VILLAVIEJA	03°23'N	75°06'W
LA LEGIOSA	HUILA	COLOMBIA	03°20'N	74°44'W

FUENTES DE CONSULTA

- **Bibliograficas:**

1. CASTRO ROJAS, Felipe. RODRIGUEZ, Wilson francisco. *Desarrollo de tecnologías en aprovechamiento de Energías Alternativas (energía solar)*. Trabajo de grado (Licenciatura en educación básica en ciencias naturales y ed. Ambiental). Universidad Surcolombiana. Facultad de educación. Neiva, 2009

- **Medios Informaticos**

2. Asociación Europea de la energía Eólica http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADas_renovables_en_Colombia, 2 diciembre del 2009
3. ORTEGA,Monica. <http://www.enbuenasmanos.com/articulos/muestra.asp?art=243>, 8 de enero 2010.
4. Energías renovables. <http://www.nodo50.org/panc/Ere.htm>. 10 de enero de 2010.
5. IDEAM. <http://www2.ideam.gov.co/VientoEnergiaEolica/AtlasCapitulo4.html>.
6. Laboratorio de Física. <Http://fisica-its.awardspace.com/Laboratorio/Lab1tunelaero.pdf>
7. <http://www.scribd.com/doc/20701635/Ley-de-la-conservacion-de-la-energia>
8. <http://usuarios.multimania.es/pefeco/leyohm/leyohm.htm>
9. http://www.fisicanet.com.ar/fisica/magnetismo/ap04_campo_magnetico.php

10. <http://www.amics21.com/laveritat/introduccion teoria turbinas eolicas.pdf>
11. <http://www.amics21.com/laveritat/introduccion teoria turbinas eolicas.pdf>
12. <http://tecnobach.wikispaces.com/Aspas+de+los+molinos+e%C3%B3licos>
13. <http://www.invap.com.ar/es/rincon-didactico/585-las-turbinas-de-hoy.html>
14. <http://www.scribd.com/doc/24930827/Aerogenerador-casero>
15. http://www.bornay.com/userfiles/tipos_torres.pdf
16. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo03.htm>
17. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia39/HTML/articulo03.htm>
18. www.fing.edu.uy/imfia/cliv/Disenoyconstruccion.pdf
19. [http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_\(electricidad\);](http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_(electricidad);)
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_7193.pdf
20. http://www.amics21.com/laveritat/manual_generador_eolico.pdf
21. <http://html.rincondelvago.com/rotor-de-3-palas-de-un-aerogenerador.html>
22. <http://www.scribd.com/doc/24930827/Aerogenerador-casero>
23. http://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&tl=es&u=http://www.yourgreendream.com/diy_pvc_blades.php
24. <http://www.scribd.com/doc/24930827/Aerogenerador-casero>
25. Snel, Herman. *Generación eléctrica por energía Eólica*. Asociación para la Investigación y Desarrollo en energía y Ambiente. San José Costa Rica 1999. 540 pp.
26. http://www.bibliotecaverde.org/images/3/3b/Manual_eolica_es.pdf
27. http://www.worldmapfinder.com/Map_Earth.php?ID=/Es/South_America/Colombia/Neiva

28. http://www.alcaldianeiva.gov.co/cms/index.php?option=com_content&view=article&id=123:departamento-administrativo-de-planeacion&catid=65:objetivos-y-funciones&Itemid=117
29. <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>
30. http://www.bornay.com/userfiles/tipos_torres.pdf PAG.12

- **Otros:**

Artículos

CONRADO MORENO, Figueredo. *Tecnología de los pequeños aerogeneradores: Fundamentos teóricos*. En: energía y tú. Vol. 39 (julio-septiembre. 2007). Pág. 12-16.

CONRADO MORENO, Figueredo. *Producción de electricidad con energía eólica: breve historia de los aerogeneradores*. En: energía y tú. Vol. 40 (octubre-diciembre. 2007). Pág. 30-34