

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR BASADO EN LA LEY DE
LA INDUCCIÓN DE MICHAEL FARADAY

Deisy Juliana Castillo Molina

Dayned Gómez Cuervo

Febrero 2017

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ, D.C.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR BASADO EN LA LEY DE
LA INDUCCIÓN DE MICHAEL FARADAY

DEISY JULIANA CASTILLO MOLINA

DAYNED GÓMEZ CUERVO

Febrero 2017

Trabajo de grado para la obtención del título de
INGENIERO INDUSTRIAL

Qco Mg. Ing. Esp. Freddy Alfonso
Tutor

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ, D.C.

NOTA DE ACEPTACIÓN

OBSERVACIONES

JURADO N° 1

JURADO N° 2

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto a nuestras familias, las cuales nos apoyaron durante toda la ejecución, no podemos dejar a un lado a aquellas personas que constantemente se interesaron por ver realizado nuestro logro, usualmente escuchamos que muchas cosas no se pueden lograr sin el apoyo de alguien, y somos testigos de nuestra persistencia y dedicación, del apoyo que nos ofrecemos la una a la otra, podemos afirmar que fuimos el complemento perfecto y que gracias a esto logramos finalizar satisfactoriamente nuestro propósito.

Juliana Castillo y Dayned Gómez

AGRADECIMIENTOS

Principalmente quisiéramos agradecer la culminación de este proyecto a nuestro asesor y amigo el profesor Domingo Padilla, quien desde el momento en el cual le planteamos el objetivo de lo que queríamos lograr mostro su profundo interés, sin importar la falta de tiempo nos ofreció su dedicación, perseverancia, creatividad, compromiso y apoyo incondicional inigualable, se tomó el tiempo de explicarnos los que no entendíamos y de ser parte del desarrollo y crecimiento individual de cada una, donde nos dedicamos a implementar toda la teoría aprendida durante estos cinco años de carrera.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	11
Palabras clave.....	12
Abstract	12
Keywords	13
Introducción	14
Justificación.....	16
Objetivos	18
1. Objetivo General.....	18
2. Objetivos Específicos	18
CAPITULO I.....	19
1. Estado Del Arte.....	19
CAPITULO II	24
2. Marco conceptual.....	24
2.1 Fuentes de Energía Renovables	24
2.2 Historia de la Energía.....	26
2.3 Aerogenerador sin aspas.	28
2.4 Campo magnético generado por bobinas	29
2.4.1 Ampere	29
2.5 Ley de la Inducción de Faraday	29

2.6 Ley de Lenz.....	30
CAPITULO III.....	31
3. Marco de referencia y legal	31
3.1 Energías Renovables en Colombia	31
3.2 Plan Energético Nacional 2006-2025	31
3.3 Esquema de un Aerogenerador	32
3.4 Pequeños Aerogeneradores.....	32
3.5 Costos Futuros de Aerogeneradores	32
3.6 Orígenes y Velocidad del Viento en Superficie.....	33
3.7 Tendencias Actuales de Diseño de Aerogeneradores	34
3.8 Realidad Actual en España	36
3.9 Normatividad	37
Plan Fomento en España.	41
Para Aerogeneradores.	42
CAPITULO IV.....	43
4. Metodología.....	43
4.1 Etapa I Estado del arte	43
4.2 Etapa II Diseño	43
4.3 Etapa III Construcción	44
4.4 Etapa IV Pruebas de Funcionamiento	44

4.5	Análisis de resultados.....	45
CAPITULO V		47
5.	Resultados.....	47
5.1	Etapa I Estado del arte	47
5.2	Etapa II Diseño	48
5.3	Etapa III Construcción	54
5.4	Etapa IV Pruebas de funcionamiento.....	58
5.5	Análisis de resultados	59
Conclusiones		66
Bibliografía		68
Anexos.....		73
Anexo 1: Diagrama de bloques construcción de aerogenerador		74

Tabla de figuras

Figura 1 Promedio horario de velocidad del viento.	46
Figura 2 Circuito en serie y paralelo.	47
Figura 3 Plano general.	49
Figura 4 Cara frontal 50	50
Figura 5 Cara superior cono vibracional 51	51
Figura 6 Cara inferior cono vibracional 51	51
Figura 7 Plano general eje magnético 52	52
Figura 8 Cara superior eje magnético 53	53
Figura 9 Cara inferior eje magnético 53	53
Figura 10 Manzana de bicicleta usada. 54	54
Figura 11 Materiales de usados en la construcción..... 54	54
Figura 12 Estructura interna. 55	55
Figura 13. Cubierta Estructura. 56	56
Figura 14. Generación de energía. 57	57
Figura 15. Prototipo del Aerogenerador sin aspas. 58	58
Figura 16. Oscilaciones vs corriente directa. 62	62
Figura 17 Oscilaciones vs voltaje directo. 63	63

Lista de tablas

Tabla 1 Evolución Histórica de la Energía	26
Tabla 2 Muestra en vientos de 2,5m/s.....	59
Tabla 3 Muestra en vientos de 1,5m/s.....	60
Tabla 4 Potencia de 42 Oscilaciones.....	63
Tabla 5 Potencia de 65 Oscilaciones.....	64
Tabla 6 Potencia de 42 Oscilaciones en una hora.	64
Tabla 7 Potencia de 65 Oscilaciones en una hora.	64

Resumen

Debido al constante crecimiento en el interés por empezar a incentivar y promover la implementación de energías alternativas que nos ayuden a mitigar los impactos ambientales actuales por el mal manejo de las formas tradicionales de la generación de energía y lograr generar energía más limpia y menos costosa se incursiona en la energía eólica, la cual utiliza el viento como fuente principal para la generación de la energía eléctrica.

Este proyecto tiene como finalidad diseñar y construir un prototipo de aerogenerador sin aspas en forma cónica utilizando algunos materiales reciclables, que produzca electricidad por medio de un sistema de inducción electromagnética para posteriormente generar energía constantemente, de tal forma que ésta pueda ser implementada de la mejor manera; para esto se estima la importancia del uso de nuevas tecnologías que produzcan energías a bajo costo, principalmente aquellas que tienen como prioridad el aprovechamiento de la fuerza del viento y no requieren altas velocidades del mismo.

Con el prototipo se pretende lograr generar un dispositivo que tenga la facilidad de ser adaptado a cualquier edificación con el fin de mejorar la eficiencia energética y contribuir al desarrollo social de las viviendas para que estas logren ser auto sostenibles energéticamente, la innovación en tecnologías eólicas permiten el uso de recursos renovables en este caso el viento como eje principal, uno de los inconvenientes principales del uso de aerogeneradores tradicionales es su implementación restringida por el ruido que producen cuando se encuentran en funcionamiento.

Este prototipo pretende ser una propuesta económica y práctica que satisface necesidades completamente sostenibles, utilizando materiales económicos y fáciles de implementar y aprovechando las fuentes inagotables de energía como lo es la energía cinética del viento.

Palabras clave

Aerogenerador, Energía eólica, Energía renovable, Ley de la Inducción de Michael Faraday, Oscilación, Vibraciones.

Abstract

Due to the constant growth in interest in starting to encourage and promote the implementation of alternative energies that help us to mitigate the current environmental impacts by the mismanagement of traditional forms of energy generation and to generate cleaner and less expensive energy Incursion in the wind energy, which uses the wind as main source for the generation of the electrical energy.

This project aims to design and build a prototype wind turbine without blades in a conical form using some recyclable materials, to produce electricity by means of an electromagnetic induction system to subsequently generate energy constantly, so that it can be implemented from the best way; For this the importance of the use of new technologies that produce energy at low cost is estimated, mainly those that have as priority the use of the force of the wind and do not require high speeds of the same.

With the prototype, it is intended to generate a device that has the facility of being adapted to any building in order to improve energy efficiency and contribute to the social development of homes so that they can be self-sustaining energy, innovation in wind technologies The use of renewable resources in this case the wind as the main axis, one of the main drawbacks of the use of traditional wind turbines is their implementation restricted by the noise they produce when they are in operation.

This prototype aims to be an economic and practical proposal that satisfies completely sustainable needs, using economical materials and easy to implement and taking advantage of inexhaustible sources of energy as is the kinetic energy of the wind.

Keywords

Wind Turbine, Wind Power, Renewable Energy, Michael Faraday Induction Act, Oscillation, Vibration.

Introducción

En la actualidad se vive una crisis energética a causa del uso de las tecnologías tradicionales que reducen el recurso energético, para ello se pretende buscar una fuente alterna de generación de energía y de este modo aprovechar las energías renovables. En el país se desarrollan varios proyectos energéticos, pero no dan abasto frente al cambio climático y el agotamiento de los recursos, la implementación de aerogeneradores sin aspas minimiza un 100% el ruido generado por aquellos que sí las poseen. En Bogotá el 41% de la demanda de energía es consumida por el sector residencial y el 59% por el sector industrial, comercial y oficial, con el crecimiento de la población y debido al dinamismo del comercio, la demanda energética aumentó en los últimos 13 años en un 50% representado por 4.000 Gwh, la mayoría debido a los usuarios residenciales y del comercio (Fedesarrollo, 2013) toda ella proveniente de hidroeléctricas de gran tamaño y centrales térmicas. A nivel nacional las fuentes primarias que abastecen la demanda eléctrica en el mes de junio de 2010 con una capacidad instalada de generación eléctrica de 13,531 MW, son generación hidráulica 67.4%, generación térmica con gas natural 20.4%; generación térmica con carbón 7.3%, y el restante 5.0% lo constituían plantas de cogeneración, fuel oil y eólicas (parque Jepirachi en la Guajira). En la zona centro del país las fuentes primarias de energía constituyen hidráulicas y carbón (UPME, 2010). Todo lo anterior evidencia:

1. En Bogotá el sector residencial y el comercial tienen la mayor participación de la demanda de energía eléctrica.
2. En la última década se evidencia un constante crecimiento en el comercio lo que ha incrementado la demanda de electricidad hasta en un 50%.
3. Actualmente Colombia depende de dos fuentes primarias de energía para el abastecimiento de electricidad: hidráulica y térmica por carbón.

4. La disponibilidad de la generación hidroeléctrica en Colombia depende de los fenómenos climáticos debido al aumento de temperaturas en la Cordillera Andina y de la intensidad y frecuencia del ENSO- El Niño Oscilación Sur, lo que conlleva en 1992 a la hora Gaviria debido a la crisis energética (Quijano Hurtado, Ricardo y Domínguez Bravo, Javier, 2008).

5. Las hidroeléctricas grandes representan problemas sociales y ambientales como lo es el desplazamiento de indígenas y campesinos, producción de gases de efecto invernadero, afectación de la fauna, flora y biodiversidad de especies acuíferas, inundaciones y otras problemáticas que afectan el desarrollo sostenible del país. (ONUDI, 2003).

De acuerdo a este análisis y a las necesidades actuales que propenden por la seguridad energética se debe apuntar al uso de fuentes de energía más limpia, lo que obligará a largo plazo a que los sectores de generación de energía y de consumo energético implementen alternativas energéticas renovables y de menor impacto económico y ambiental.

Dentro de las energías renovables de mayor comercialización se encuentran las tecnologías fotovoltaicas y las eólicas, ambas costosas que requieren de gran área para su instalación, por lo cual hay que hacer uso de las nuevas investigaciones y tecnologías que permitan el uso de las existentes con mejores eficiencias y mitigando las externalidades negativas que poseen las tecnologías actuales, que puedan ser útiles no sólo en áreas rurales sino también urbanas sobrepasando los obstáculos que dificultan su implementación actual.

De acuerdo al referente establecido se plantea la siguiente pregunta: ¿Se puede crear un prototipo de aerogenerador no convencional que emplee fuerza electromagnética para la producción de energía eléctrica?

Justificación

Este proyecto tiene como fin diseñar y construir un prototipo de aerogenerador sin aspas en forma cónica que genere electricidad por medio de un sistema de inducción electromagnética produciendo energía constantemente de tal forma que ésta posteriormente puede ser almacenada en una batería recargable y empleada de la manera más adecuada en cuanto al sector industrial, para esto se estima la importancia del uso de nuevas tecnologías que produzcan energías de bajo costo, como aquellas que tienen como prioridad el aprovechamiento de la fuerza del viento y no requiere que altas velocidades del mismo, sino que se puede aprovechar la velocidad del viento en cualquier momento.

Con el prototipo se pretende lograr originar un dispositivo que tenga la facilidad de ser adaptado a cualquier edificación con el fin de mejorar la eficiencia energética y contribuir al desarrollo social de las viviendas para que estas logren ser auto sostenibles energéticamente, la innovación en tecnologías eólicas permiten el uso de recursos renovables en este caso el viento como eje principal, uno de los inconvenientes principales del uso de aerogeneradores tradicionales es su implementación restringida por el ruido que producen cuando se encuentran en funcionamiento.

Este prototipo pretende ser una propuesta económica y práctica que satisface necesidades completamente sostenibles, utilizando materiales económicos y fáciles de implementar y aprovechando las fuentes inagotables de energía como lo es la energía cinética del viento. El alcance inicia desde su diseño hasta la construcción y divulgación tanto a través de medios académicos para ser utilizado por la comunidad tanto urbana como rural utilizando cartillas para que pueda ser reproducible.

Al crear un aerogenerador totalmente diferente a los actualmente implementados en Colombia se pueden generar algunos beneficios entre los cuales se encuentran; No generar ruido, los costos son más reducidos en cuanto a materiales, montaje y mantenimiento, reducción en el impacto ambiental y producción de energía más limpia y más económica, además innovación en cuanto al desarrollo de tecnologías alternativas en Colombia.

Objetivos

1. Objetivo General

Diseñar y construir un prototipo de aerogenerador basado en un mecanismo de inducción magnética para la producción de energía eléctrica.

2. Objetivos Específicos

2.1 Elaborar el estado del arte de aerogeneradores y mecanismos que interfieren en el movimiento electromagnético para la generación de energía.

2.2 Construir un mecanismo inductor de campos magnéticos.

2.3 Realizar un circuito electrónico que se adapte al mecanismo inductor.

2.4 Diseño de un prototipo de aerogenerador en forma cónica.

2.5 Validar el funcionamiento del aerogenerador.

CAPITULO I

1. Estado Del Arte

Con el paso del tiempo se han promovido encuentros a nivel mundial para difundir los impactos que se han generado por la mala implementación de los recursos naturales, algunos de los cuales han enmarcado la historia han sido; La conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático en 1992 y la convención de Kyoto realizada en Diciembre de 1997 la cual produjo el denominado “ Protocolo de Kyoto” , en los cuales se ha discutido la importancia de fomentar iniciativas que promuevan el manejo adecuado de los recursos, con el fin de proteger el ambiente.

En Colombia la zona norte cuenta con las mejores potencialidades para generar este recurso. Por ejemplo, en la Alta Guajira, Empresas Públicas de Medellín (EPM) puso en funcionamiento el primer parque eólico, Jepirachí, con 15 aerogeneradores que aportan 19.5 megavatios al Sistema Interconectado Nacional. (Noriega & Ustos, 2009)

Recientemente, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) anunció la aprobación de un préstamo de US\$9,265 millones para promover la inversión privada en generación eléctrica de energía renovable en zonas no interconectadas y localidades aisladas de Colombia. Según el Banco Interamericano de Desarrollo, alrededor del 60% del territorio nacional no está conectado a la red eléctrica y con el préstamo los operadores del sector privado que prestan y administran servicios públicos de suministro de electricidad y proveedores de tecnología de energías renovables, podrán ampliar su red de servicios.

Actualmente en el país se encuentran 6 proyectos en convenio con la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) de los cuales; 2 son Exclusivamente de realización de

aerogeneradores de energía eólica, 3 de los 6 además de los aerogeneradores utilizan los planes fotovoltaicos. el uso de la energía eólica (uso de la energía cinética del viento para su transformación en formas de energía útiles), para generación de electricidad en Colombia, se restringe al parque de Jepirachi ubicado en la Guajira, En éste departamento la velocidad de los vientos oscila de 5 a 11 m/s, mientras que en el resto del territorio, los meses de abril, octubre y diciembre son de velocidad baja, los demás meses se alcanza hasta 4 m/s, en regiones como el litoral central de Bolívar y Atlántico, límites entre Boyacá y Cundinamarca, Piedemonte Llanero de Meta y Casanare (IDEAM & UPME, 2006). Según Maya, Hernández y Gallego (2012), el escaso uso de la energía eólica en el país se debe a los diferentes interrogantes que surgen debido a las variaciones de los vientos y los altos costos de electricidad anudados a las grandes inversiones que se deben realizar. Las formas tradicionales de aprovechamiento de energía eólica a nivel global, datan desde hace cientos de años en aplicaciones para el agro, en molienda de granos, bombeo de agua entre otras aplicaciones (Pinilla, 2008). En los años 80, las perspectivas de desarrollo de estas tecnologías crecieron debido a la evolución en áreas interdisciplinarias del conocimiento como lo son electrónicas, sistemas de información y comunicación, nuevos materiales, mejores herramientas computacionales de diseño, entre otros. (Pinilla, 2008). Los aerogeneradores actuales se basan en dos tipos, los de eje horizontal que son los más usados debido a su gran eficiencia y los de eje vertical con menor potencial de energía producida. Cada una de estas tecnologías tiene variaciones y ventajas, así como desventajas, por ejemplo, los aerogeneradores de eje horizontal son eficientes, pero requieren mayor área de instalación y de sistema de direccionamiento para optimizar su funcionamiento, producen ruido, además de ser peligroso para las aves. Los aerogeneradores de eje vertical, son más silenciosos, pero menos

eficientes, no requieren de sistemas de direccionamiento ya que el viento puede atravesarlos desde cualquier dirección, son menos peligrosos para las aves y no producen ruido.

A nivel nacional, la energía solar tuvo auge sólo hasta alrededor de los 80s, donde se implementan proyectos de energía térmica para calentamiento de agua sanitaria, luego para telecomunicaciones y otros proyectos de celdas fotovoltaicas para la generación de energía eléctrica a pequeña escala; otras aplicaciones incluyen secadores solares en la agricultura y destiladores de agua (Murcia, 2008). Lamentablemente los altos costos de inversión, la baja eficiencia de las celdas solares y la gran extensión de área que se requiere para la generación de electricidad a gran escala, actúan como barreras para su implementación. Las tecnologías actuales se basan en la innovación utilizando mecanismos que mejoran en la eficiencia a través de formas y materiales que permitan acelerar el viento para aumentar la capacidad instalada.

Dentro de estas nuevas tecnologías se encuentran:

El sistema Winformer de energía eólica a gran escala el cual es un sistema integrado con perspectivas de uso de generación de energía en alta mar y zonas costeras, transmitiéndola después a la red eléctrica. Esta tecnología aumenta la potencia de salida hasta un 20%, reduciendo a la mitad los costes de mantenimiento durante la vida útil del sistema. (Owman, Walfridsson, Leijon, Dahlgren y Frank, 2000)

QENERGIA SL; es una empresa que actualmente está incentivando en el mercado nueve tipos de innovación tecnológica para un mejor aprovechamiento de los vientos, estas innovaciones se encuentran en la página oficial de la empresa, algunas de ellas son las Turbinas eólicas en vuelo las cuales pueden alcanzar grandes vientos y variables y puede ser utilizada en mar adentro a grandes profundidades, Wind Harvester con movimientos recíprocos, no produce ruido y puede iniciar con bajas velocidades de viento, Energía eólica sin filo windstalk la cual

utiliza materiales piezoeléctricos y lentes de viento, denominada así porque usa lentes en las aspas de las turbinas para aumentar su potencia. (Queenergía, 2014)

Las tecnologías Offshore son utilizadas para generar energía en aguas profundas, por ejemplo, la empresa Marine Innovation and Technology diseña este tipo de turbinas, y la innovación apunta a prototipos de turbinas eólicas flotantes sin estructuras de fijación en el suelo marino (Gobierno Federal, et al. s.f).

Tecnologías sin turbinas, que utilizan materiales piezoeléctricos combinados con energía eólica para producción de electricidad, dentro de estos prototipos innovadores se encuentra el desarrollado en Suecia en el laboratorio Belatchew Labs donde se realizó el revestimiento del edificio Söder Torn (Torre Sur) ubicado en el barrio de Södermalm, Estocolmo, con fibras piezoeléctricas formadas por un núcleo piezocerámico cubierto de un polímero flexible en forma de caña o pajita capaces de transformar el movimiento del viento en energía eléctrica sin la necesidad de un generador. Este sistema tiene ventajas ya que es silencioso, no tiene problemas de intervención con el entorno y funciona a bajas velocidades del viento ya que una simple brisa permite la ondulación de dichas fibras. (Cámara Mexicana de la industria de la Construcción-Delegación Yucatán, 2013)

Aerogenerador sin Aspas, es un dispositivo de un aerogenerador que se centra para aprovechar la energía cinética del viento. Este proyecto se basa en dos mecanismos, el efecto de vórtices que se generan debido a la dinámica vibracional del viento cuando choca con una superficie curva y convexa y la generación de energía sin sistemas de engranajes ni partes móviles lo cual se traduce en un ahorro económico (Pardo, 16 de junio de 2015). Estas últimas tecnologías son interesantes desde la perspectiva económica y ambiental, ya que son más económicas, menos costo de mantenimiento, sencillas, de fácil instalación, ocupan menos área

por KW producido, no generan ruido, pueden trabajar en un amplio rango de velocidades del viento, no afecta a las aves, no produce interferencia con radares y son más limpias, esto reduce las barreras de acceso en el mercado.

El panorama actual, de uso de fuentes de energía renovables en Colombia, evidencia que hay que buscar nuevas tecnologías que permitan aprovechar los recursos renovables con el fin de reducir las barreras y el acceso para diversificar el mercado energético del país y de esta forma asegurar el suministro de energía.

La generación y propagación de energías a partir de fuentes no convencionales está en auge a nivel mundial, ya que muchos dirigentes están motivando a sus países a implementar acciones sobre investigación, desarrollo y demostración en energías eólicas, algunos de los países que destacan son:

Alemania: Cuarto programa de Investigación en Energía y Tecnología del Ministerio de Economía y Tecnología.

Dinamarca: Programa de investigación de Energía del Ministerio de Ambiente y Energía y Programa de Desarrollo, demostración e información de energía renovable de la Agencia Danesa de energía.

Estados Unidos: Programa de Energía Eólica del Departamento de Energía (USDOE)

Países Bajos: Programa de Energía Eólica NOVEM

Japón: Programa de Investigación, Desarrollo y Demostración en energía eólica del Ministerio de Comercio Internacional e Industria (MITI)

Suecia: Programa de Investigación y Desarrollo de Energía Eólica del Instituto de Investigación en Aeronáutica (FFA)

Reino Unido: Programa de energía Renovable del Departamento de Comercio e Industria.

CAPITULO II

2. Marco conceptual

2.1 Fuentes de Energía Renovables

Son aquellas que se pueden reutilizar sin agotar el recurso, son de fácil uso y baja inversión para su aplicación, dentro de las cuales encontramos:

Energía Eólica. Llamada energía del viento, es una consecuencia de la energía solar ya que es ésta la que produce el viento, es limpia e inagotable. Comenzó a utilizarse para producir electricidad a pequeña escala por medio de generadores accionados por una hélice dependiendo de la intensidad del viento y su dirección según la posición geográfica en la que se ubique, está ligado a la latitud y altitud del lugar y a la distancia que los separa del mar. El viento son las corrientes de aire. La velocidad del viento en superficie se refiere a la velocidad que alcanza esta variable meteorológica a 10 metros de altura establecida por la OMM (Organización Meteorológica Mundial) como estándar para la medición y el seguimiento del viento. (UPME, 2006).

La energía eólica consigue transformarse en energía eléctrica por medio de aerogeneradores, o en fuerza motriz a partir de molinos de viento. Es una energía segura y gratuita, pero tiene las desventajas de que la velocidad del viento es variable y poco confiable, los aerogeneradores producen ruido y la vida silvestre puede verse afectada, ya que existe el riesgo que las aves caigan en ellos y mueran.

Historia de la Energía Eólica. El uso más antiguo de la energía eólica del que se tiene documentación es como medio de locomoción. Existen dibujos egipcios, de 5000 años de antigüedad, que muestran naves con velas utilizadas para trasladarse por el Nilo. Hasta el siglo XIX, con el perfeccionamiento e introducción de las máquinas de vapor, la navegación dependió casi exclusivamente de este recurso energético. Ya en el siglo XX, con la invención de los motores de combustión interna, la navegación a vela quedó relegada solo a las actividades deportivas y a algunas actividades comerciales en pueblos costeros. Recientemente, sobre todo motivadas por los aumentos de los precios del petróleo de los años 1973 y 1979, se realizaron experiencias y construyeron barcos prototipo que utilizan la energía eólica como medio para ahorrar combustible. En transporte transoceánico, con los diseños actuales, podrían alcanzarse ahorros del orden del 10%. Los países industrializados focalizaron sus desarrollos en el abastecimiento de energía eléctrica. Los logros alcanzados en el plano de la investigación y desarrollo y, más aún, en las tecnologías de producción de turbinas eólicas, han hecho que, en el presente, el recurso eólico haya dejado de ser una potencial alternativa de abastecimiento para convertirse en una realidad. Las turbinas eólicas son hoy una opción más en el mercado de la generación eléctrica. (Instituto Argentino de la Energía " General Mosconi", 2003)

Origen del Viento. El calentamiento dispar de la superficie terrestre por acción de la radiación solar es el principal causante de los vientos. En las regiones ecuatoriales se produce una mayor absorción de radiación solar que en las polares; el aire caliente que se eleva en los trópicos es reemplazado por las masas de aire fresco superficiales proveniente de los polos. El ciclo se cierra con el desplazamiento, por la alta atmósfera, del aire caliente hacia los polos. Esta circulación

general, que sería la observada si la tierra no girase, se ve profundamente alterada por el movimiento de rotación de la tierra (Departamento de Ingeniería eléctrica y energética)

Energía Solar. Es la principal fuente primaria de energía que puede transformarse en energía eléctrica mediante el uso de células fotovoltaicas.

La Biomasa. Hace referencia a la sustancia constitutiva de los seres vivos, la cual almacena energía y puede ser utilizada en procesos de combustión, calentamiento directo o radiación solar, esta energía se libera en forma de calor y devuelve a la atmósfera el CO₂.

Energía Magnética. Es una fuente de energía generada por el movimiento de imanes, los cuales poseen una serie de electrones que apuntan en una misma dirección, su fuerza depende de la cantidad de electrones que él contenga, posee un polo positivo y otro negativo lo cual produce que se repelen o se atraigan. La energía magnética es producida a partir de la aceleración de un imán dentro de un embobinado usado generalmente en la construcción de motores y generadores.

2.2 Historia de la Energía

Tabla 1
Evolución Histórica de la Energía

AÑO	EVOLUCIÓN
770000 A.C	En Israel. Descubren como hacer fuego.
2000 A.C.	Los chinos queman carbón para calentarse y cocinar.
1D.C.	Los chinos. Recolectaron y refinaron el petróleo como combustible para lámparas.
200	Los europeos, construyeron ruedas en los ríos y arroyos para emplear el agua como fuente de energía.

1000	Los persas construyeron el primer molino de viento como fuente de energía.
1600s- 1700s	Los británicos descubrieron como cocinar el carbón para transformarlo en coque, el cual posteriormente serviría como combustible en el siglo XVIII, XIX, y en la industria del siglo XX.
Principios y Mediados del siglo 1700	El carbón empezó a reemplazar otros combustibles como fuente principal de energía.
1820s	El primer pozo de gas natural fue perforado en Fredonia , NY
1830 s	Gracias al Británico Michael Faraday se descubrió el electromagnetismo y generador eléctrico.
1850 s	El primer pozo de petróleo es perforado en Titusville
1860	Auguste Mouchout, construye el primer generador de energía solar, usando un espejo para reflejar la luz del sol y crear vapor.
1880s- 1890s	Nikola Tesla, inventa el Sistema de la Corriente Alterna.
1892s	Primer uso de la energía geotérmica para calentar edificios de Boise,Idaho.
1948	Descubrimiento del campo de petróleo Ghawar, el depósito de petróleo más grande del mundo.
1950	Primera planta de energía nuclear en Obninsk.
A los principios de los 1970s	La producción de petróleo empieza a declinar.
1979	El accidente en three Mile Island en Pensilvania detiene en desarrollo de energía nuclear en EEUU.
1980	Los científicos empezaron a reunir evidencia que demostraba que la quema de combustibles fósiles nos estaba llevando a una catástrofe potencial en el cambio climático global.
2000	Los productores de energía, emplearon métodos complicados para llegar a las reservas de combustibles fósiles y se incrementa el desarrollo de fuentes de energía alternativa.
2001	Algunos países como parte de su plan de desarrollo energético empezaron a establecer políticas relacionadas con energía.
2002	Japón construye e instala 25000 paneles solares.
2006	La energía eólica empieza a buscar otros métodos y diseños arquitectónicos para ser más eficientes, reducir la contaminación por el ruido y ser más atractivos visualmente.

2008-2009	España es reconocida como uno de los países con irradiación solar, es reconocida como uno de los países con mayor potencia fotovoltaica en el mundo.
2012	La Unión Europea prohíbe la fabricación de bombillas incandescentes.
2013	Según la REE el cubrimiento de la demanda de energía que requiere España es suplido en su mayoría por energía eólica con un 21% energía nuclear con otro 21 % y la energía solar se va acercando a un 4,5%
2014	España se encuentra por encima de otros países, sigue llevando la delantera en energía solar.

Fuente: Recuperado de Ventageneradores.net

2.3 Aerogenerador sin aspas.

Es una tecnología que utiliza el efecto de vibraciones y consiste en un cilindro cónico fijo verticalmente con una varilla elástica, el cilindro oscila por el viento, que a su vez genera electricidad a través de un eje lineal rígido que posee la capacidad de vibrar, permaneciendo anclado a la barra inferior. La parte superior del cilindro no está restringido y tiene la máxima amplitud de la oscilación. La varilla cilíndrica interior, se ancla a la misma en su parte superior y se fija al suelo en su parte inferior, ésta proporciona la resistencia más alta a la fatiga y tiene el mayor factor de calidad mecánico, lo que permite su elasticidad para absorber las vibraciones generadas por el cilindro. A medida que el viento pasa a través de un cuerpo romo, el flujo se modifica y se genera un cíclico patrón de vórtices con movimientos lo suficientemente fuertes que hacen que el cuerpo del aerogenerador comience a oscilar, y entrar en resonancia con las fuerzas laterales del viento.

2.4 Campo magnético generado por bobinas

El campo magnético generado por dos bobinas alineadas se puede realizar por medio de dos métodos. Método de los armónicos zonales desarrollado por King en 1924 y Garret en 1962 permite una separación de la geometría del campo del sistema generador, por lo que las coordenadas del campo y de la fuente se pueden describir por sistemas independientes de ecuaciones, (Gutiérrez Tapia & González Damián, 2002) el método de las ecuaciones integrales elípticas permite calcular con bastante precisión el campo magnético generado por un sistema de bobinas.

2.4.1 Ampere

Símbolo a: denominado así en honor a André-Marie ampere. Unidad de corriente eléctrica del sistema internacional de unidades (si). Definición: el ampere o amperio es la intensidad de una corriente constante que, manteniéndose en dos conductores paralelos, rectilíneos, de longitud infinita, de sección circular despreciable y situados a una distancia de un metro uno de otro, en el vacío, produciría entre estos conductores una fuerza igual a 2×10^{-7} Newton por metro de longitud. (Tippens, Paul E., 2007)

2.5 Ley de la Inducción de Faraday

Afirma que la fuerza electromotriz inducida en una espiral es directamente proporcional a la relación de cambio en el tiempo del flujo magnético a través de la espira.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Donde $\Phi_B = \oint \vec{B} * d\vec{A}$ es el flujo magnético a través de la espira.

2.6 Ley de Lenz

Afirma que la corriente inducida y la fuerza electromotriz inducida en un conductor están en una dirección tal que establecen un campo magnético que se opone al cambio que los produce.

(Raymond A. Serway y John W. Jewett, 2008)

CAPITULO III

3. Marco de referencia y legal

3.1 Energías Renovables en Colombia

Las directrices de la política energética colombiana referidas a las energías renovables están contenidas en el Plan Energético Nacional donde se establece que el país debe realizar mayores esfuerzos con el fin de profundizar el conocimiento y clasificación de sus fuentes no convencionales de energía. (MOTTA, AGUILAR, & AGUIRRE, 2012) a fin de aprovechar las llamadas energías limpias o renovables en diferentes partes del país, aplicadas referentes a las zonas no interconectadas, las cuales requieren del recurso energético.

Resaltando los recursos que posee el país, teniendo en cuenta su ubicación geográfica y sus condiciones climáticas que permiten la aplicación de diferentes tecnologías para fomentar sistemas de aplicación por medio de incentivos la utilización de las energías renovables en la industria y otros sectores importantes de la economía que mueve el país.

3.2 Plan Energético Nacional 2006-2025

Plantea una serie de estrategias a tener en cuenta en el desarrollo de la política energética con el fin de asegurar el abastecimiento energético, conducir al crecimiento económico disponiendo de los recursos que hay en cada una de las regiones del país, también elevar la calidad de vida a nivel nacional e internacional y contribuir al bienestar social sin agotar la base de recursos naturales renovables que deterioran el medio ambiente, forjando un gran campo de competencias integrales por el bienestar mundial de los ecosistemas en ambientes educativos y tecnológicos regulados por entidades públicas y gubernamentales. (P., A.L. 2006)

3.3 Esquema de un Aerogenerador

En los próximos 20 años se esperan fuertes tendencias de crecimiento del mercado de la energía eólica. Se espera que para 2030 haya 2.500 GW de potencia eólica instalada en el mundo que generaría el 17% del consumo global de energía (actualmente la energía eólica provee el 1.3% de la electricidad del mundo). Para alcanzar este objetivo, la industria deberá crecer a un promedio de 12% después del 2014 (esto es modesto si se tiene en cuenta que durante los 5 años 2004-2009 anteriores creció al 25% anual) y se ha desarrollado una gran capacidad de producción en Europa, USA y China. El mayor crecimiento de la potencia instalada se espera de USA y China. (UPME, 2010)

3.4 Pequeños Aerogeneradores

Estos sistemas generalmente están diseñados para alimentar pequeñas cargas a 12 o 24 VDC y emplean baterías como sistema de almacenamiento de energía. Pero si se emplean inversores de 12 o 24 VDC a por ejemplo 120 VAC, se pueden atender cargas AC y con aerogeneradores de mayor capacidad (por ejemplo, 5 kW), se pueden alimentar mini redes en pequeñas comunidades aisladas. Estos sistemas también emplearse como parte de sistemas híbridos que permiten emplear diferentes equipos de generación y una mayor flexibilidad en la operación. (UPME, 2010)

3.5 Costos Futuros de Aerogeneradores

De acuerdo a la EWEA la tendencia de costos continuará descendiendo de € 935/kW en 2008 (en € de 2005) a €826/kW en 2020 y finalmente a €788/kW en 2030). Esta situación se alcanzaría bajo el supuesto que hay un balance entre oferta y demanda de energía. Las

variaciones que se presentaron alrededor de la tendencia se debieron a sobreofertas y sobredemandas de turbinas, pero a partir de 2008, los precios de las turbinas han continuado su descenso. La tendencia de precios tanto para turbinas on-shore como para turbinas off-shore y las variaciones en los precios de las turbinas entre el 2001 y el 2008 (onshore €1250/kW en 2008 – en € 2005- y offshore €2400) y la tendencia de largo plazo esperada. (UPME, 2010)

3.6 Orígenes y Velocidad del Viento en Superficie

El viento es el resultado de fuerzas que se generan inicialmente debido al calentamiento diferencial producido por el sol sobre el aire en contacto con la superficie del planeta. Después esta energía radiante se transforma en energía cinética debido a cuatro fuerzas: fuerza del gradiente de presión (El cambio de presión medida a través de una distancia se llama “gradiente de presión”. El gradiente de presión tiene como resultado una presión que se dirige desde las altas hacia las bajas presiones), de Coriolis (Una vez que el aire se ha puesto en marcha por la fuerza del gradiente de presión, experimenta un desvío aparente de su trayectoria, según es apreciado por un observador en la tierra, este desvío aparente resulta de la rotación de la tierra. Sobre el ecuador propiamente la fuerza de Coriolis se anula), centrífuga (la fuerza centrífuga se presenta producto de trayectorias curvas en el viento) y fuerzas de rozamiento o de fricción (Cerca de superficie los vientos están afectados por la fricción que sucede entre la superficie terrestre y el aire que está en contacto con ella. El mayor impacto de la fricción ocurre en los niveles bajos y sus efectos disminuyen con la altitud hasta un punto, generalmente entre 1 y 2 Km., donde desaparece). Colombia por encontrarse geográficamente ubicada entre el Trópico de Cáncer y de Capricornio, está sometida a los vientos alisios que soplan del noreste y sudeste en los hemisferios norte y sur. Las cadenas montañosas como la cordillera oriental (en ella se ubica

el departamento Norte de Santander) que se opone al flujo de los alisios del sureste, constituye una barrera que altera el flujo de las corrientes de aire al cruzar las cordilleras, por ello existe una tendencia marcada a que los vientos dominantes tienden a crecer con la altitud, de igual forma los vientos son influenciados por las condiciones locales el rozamiento y los mares. El aprovechamiento del viento para la generación eléctrica a gran escala es la tecnología de energía renovable que más ha crecido en las últimas décadas, con porcentajes de uso del 40% por año desde 1993. Actualmente la capacidad instalada a nivel mundial supera los 45000 MW. Hoy la tecnología de los aerogeneradores de mediana y pequeña potencia (500 kW) está madura, por lo que se pueden adquirir en el mercado mundial más de veinte fabricantes de esas máquinas. La tecnología eólica se encuentra en posición de hacer una importante contribución al suministro mundial de energía para los próximos años. Recientemente se han venido levantados mapas eólicos en muchos países 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 de ocasión. la distribución espacial del viento en superficie y el potencial eólico en diferentes regiones de la geografía Colombiana. (Noriega & Diaz Bustos)

3.7 Tendencias Actuales de Diseño de Aerogeneradores

Los diseños actuales de aerogeneradores se pueden clasificar en aerogeneradores de pala de paso fijo y aerogeneradores de pala de paso variable. Los de paso fijo presentan un ángulo de inclinación de la pala constante cara al viento. Los de paso variable permiten adaptar dicha inclinación de pala en función de la velocidad del viento, rotando alrededor del eje longitudinal de la pala, y modificando las propiedades del perfil aerodinámico en su confrontación frente al viento incidente. (Departamento de Ingeniería eléctrica y energética)

- Aerogeneradores de paso fijo. Consisten en una Aero turbina de palas fijas y un generador de rotor de jaula bobinada (máquina asíncrona de inducción), conectados mediante una caja multiplicadora de engranajes. El devanado del estator del generador está conectado a la red. Sus ventajas fundamentales son la simplicidad del equipo y costo, por lo que se utilizan mayoritariamente en sistemas de baja potencia; a velocidades de viento altas no aprovechan óptimamente las propiedades aerodinámicas de las palas, con la consiguiente pérdida de energía captada. Al ser un diseño fijo, a velocidades de viento altas los esfuerzos mecánicos son considerablemente altos, con lo que las palas se deben construir de tal manera que soporten tales tensiones, aumentando su coste. No disponen de un auto frenado, con lo que en caso de embalamiento hay que instalar un freno que sea capaz III.-57 de absorber toda la energía cinética de las palas. Este tipo de control tiene problemas de par de arranque del rotor, con lo que a veces el arranque es motorizado (utilizando el generador como motor). En ciertas turbinas de paso fijo se incluyen ciertos frenos aerodinámicos como control de punta de pala, alerones, etc., para evitar el embalamiento. (Departamento de Ingeniería eléctrica y energética)
- Aerogeneradores de paso variable. - En sistemas de alta potencia es rentable instalar un mecanismo de giro de inclinación de las palas, que supone una mayor complejidad y costo del equipo, Al variar el ángulo de inclinación de las palas se consigue optimizar el aprovechamiento de la energía del viento en todo el rango de velocidades, muy particularmente por encima de la velocidad nominal de la turbina. Con paso variable, las cargas mecánicas sobre las palas y el resto del aerogenerador son menores, permitiendo un diseño más ligero y de menor coste de la pala. Las cargas horizontales sobre la turbina se reducen, minimizando también la cimentación. c) Al poder orientar la pala se resuelve de

forma aerodinámica el frenado de la turbina en caso de embalamiento. (Departamento de Ingeniería eléctrica y energética)

- Máquinas de paso variable, se pueden desde los diseños menos sofisticados a los más complejos. Aerogenerador de velocidad fija. La estructura del aerogenerador de velocidad fija es básicamente un sistema multiplicador y un generador asíncrono directamente acoplado a la red por su estator, con unas baterías de condensadores para compensar la energía reactiva. La mayoría de los aerogeneradores de gran potencia que operan hoy en día en parques eólicos son de este tipo. Incorporan un generador asíncrono de roto de jaula bobinada estándar, gracias al cual se consigue un precio ajustado. Los inconvenientes de funcionar a velocidad fija son las sobrecargas mecánicas que se generan debido a las ráfagas de viento. Estas fluctuaciones de potencia en el viento se traducen, aunque filtradas, en fluctuaciones de la potencia eléctrica generada. El deslizamiento del generador varía con la energía generada cuando varía la velocidad, y es función de la resistencia del devanado del rotor, es decir, a mayor resistencia mayor deslizamiento, por lo que una forma de variar el deslizamiento consiste en variar la resistencia del rotor del alternador. (Departamento de Ingeniería eléctrica y energética)

3.8 Realidad Actual en España

La eólica en particular, se enfrenta hoy a distintos obstáculos, el primero de ellos es que desarrolla su actividad en un mercado distorsionado. Un mercado distorsionado porque las energías convencionales no han internalizado sus costes y porque además estas tecnologías convencionales reciben subvenciones, pese a lo cual se mantiene desde diversos ámbitos el discurso de que las renovables son caras. esta distorsión se produce pese a la importancia de la

diferencia de impactos ambientales entre tecnologías convencionales y renovables. Los costes de las convencionales los provocan efectos directos de la actividad de estas tecnologías como: el cambio climático de cuya realidad ya nadie puede dudar; la lluvia ácida; los vertidos de petróleo; los accidentes nucleares; o los residuos nucleares, además las fuentes convencionales reciben subvenciones como lo son los costes de Transición a la Competencia (CTCs); las ayudas a la minería; el tratamiento de residuos y desmantelamiento de centrales; las infraestructuras gasísticas y petrolíferas. (Asociación de Productores de Energías Renovables APPA, 2003)

3.9 Normatividad

Ley 51 de 1989. En esta ley se crea la Comisión Nacional de Energía que es la encargada de determinar funciones de planeación energética, además de "efectuar, contratar o promover la realización de estudios para establecer la conveniencia económica y social del desarrollo de fuentes y usos energéticos no convencionales y adoptar la política respectiva" y en relación con el subsector de energía eléctrica, "aprobar los programas de generación eléctrica no convencional y coordinar los programas de generación eléctrica en áreas no interconectadas" (UPME, 2010b, 2-4).

Decreto 2119 de 1992. Mediante este decreto se reestructuro el Instituto de Asuntos Nucleares -IAN-, y cambio de nombre a Instituto de Asuntos Nucleares y Energías Alternativas -INEA- donde se suma a sus funciones el de fomentar el uso racional de la energía, un aparte textual del decreto afirma "Igualmente el INEA deberá elaborar programas científicos y tecnológicos para la intensificación del uso de las fuentes alternas de energía". Con el fin de dar

cumplimiento a su labor, en el artículo 44 se crea el comité de Uso Racional de Energía-URE- (UPME 2010b, 2-5).

Ley 142 de 1994. La ley 142 resulta ser la pionera en la regulación de los servicios públicos domiciliarios en el país, incentivando una fuente no convencional de energía como lo es el gas natural. Esta ley le impone a la Comisión de Regulación de Energía y Gas, funciones para la regulación en cuanto a autogeneración y cogeneración de energía. Adicionalmente, en esta ley también se definen políticas para la gestión integral de residuos sólidos y peligrosos con el objetivo de minimizar los impactos al hombre y al medio ambiente.

Ley 143 de 1994. La ley 143 es conocida como la "Ley Eléctrica", en esta ley se le atribuye a la UPME la función de elaborar y actualizar el Plan Energético Nacional -PEN-, el cual debe brindar los lineamientos para el desarrollo del sector energético en el país. Esta ley se constituyó en la gran impulsadora de proyectos hasta finales de la década del noventa cuando la recesión económica golpeó fuertemente el sector y condujo al desarrollo de proyectos en los sectores de mayor confianza en el país como el hídrico y el carbón mineral. Consecuentemente en esta Ley, se designaron las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de la electricidad, al mismo tiempo, dispuso que el Estado debía ser el encargado de "asegurar la adecuada incorporación de los aspectos ambientales en la planeación y gestión de las actividades del sector" y "Abastecer la demanda de electricidad bajo criterios económicos y de viabilidad financiera, asegurando su cubrimiento en un marco de uso racional y eficiente de los diferentes recursos energéticos del país" (UPME, 2010b, 2-5).

Decreto 1682 de 1997. Mediante el cual se suprime el INEA y se asignan sus funciones a la UPME, de esta manera se concentró en la UPME la planeación energética de todos los recursos incluyendo las FNCE, con el fin de estructurar planes integrales que articulen diferentes frentes y que tengan en cuenta la Oferta y la Demanda (UPME,2010b).

Ley 697 de 2001. La ley 697 es la que promueve la utilización de energías alternativas, además pone en cabeza del Ministerio de Minas y Energía la responsabilidad de promover y adoptar programas para este tipo de energías. Mediante esta ley se declara el Uso Racional y Eficiente de la Energía -URE-, y sus objetivos se definen en el Artículo 1, como: "Asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales".

Ley 788 de 2002. Ley mediante la cual se modifica el estatuto tributario para "incentivar la compra e implementación de equipos y tecnologías que demuestren impacto en la mitigación del cambio climático", en el artículo 18 de dicha ley se contempla "la exención de renta por 15 años, a la venta de energía producida a partir de fuentes renovables como la eólica, biomasa o residuos agrícolas". Con la implementación de este beneficio se espera favorecer a las empresas generadoras, siempre que estas vendan los certificados de reducción de GEI y destinen como mínimo el 50% de las ganancias a nueva inversión en las zonas en que se ejerce su actividad. En el artículo 95 de la misma ley, también se encuentran exenciones a los importadores de maquinarias que introduzcan al país equipos destinados a proyectos que contribuyan con la

reducción de GEI, estos estarán exentos del pago del impuesto de valor agregado -IVA- (Barba et al., 2009).

La ley 1715 de 2014. Promueve el aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía dándole a las empresas beneficios sobre algunos impuestos como el impuesto de renta

ARTÍCULO 2.2.3.8.2.1."Deducción especial en la determinación del impuesto sobre la renta para los contribuyentes declarantes del impuesto sobre la renta y complementarios que realicen directamente nuevas erogaciones en investigación, desarrollo e inversión en el ámbito de la producción y utilización de energía a partir FNCE o gestión eficiente de la energía, tendrán derecho a deducir hasta el cincuenta por ciento (50%) del valor de las inversiones, en concordancia con los porcentajes establecidos en el artículo 11 de la Ley 1715 de 2014. Adicional a la exclusión del IVA y exención del gravamen arancelario para aquellos que compren maquinaria o servicios que se destinen para tal fin.

La adaptación del régimen de depreciación acelerada para aquellos generadores de energía a partir de FNCE (fuentes no convencionales de energía) que realicen nuevas inversiones en maquinaria equipos y obras civiles adquiridos y/o construidos con posterioridad a la vigencia de la Ley 15 de 14, exclusivamente para las etapas de pre inversión, inversión y operación proyectos de generación a partir de FNCE, podrán aplicar el incentivo depreciación fiscal acelerada, acuerdo con la técnica contable, hasta una tasa anual global veinte por ciento (20%)."

Ley 697 de 2001. Fomenta el uso eficiente y racional de la energía, y se promueve la utilización de energías alternativas.

Artículo N. 2. El estado debe establecer las normas de infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la siguiente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, A Corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, Convenio UPME, ICONTEC.

Ley de Conservación de la Energía de 1980 los criterios inspiradores son exclusivamente los estratégicos, como he señalado, en la Ley del Sector Eléctrico y en el Real Decreto 2818/98 ya están presentes y de forma contundente los argumentos medioambientales. Así en la exposición de motivos de la Ley se cita como un fin básico de la misma “la protección del medioambiente, aspecto que adquiere especial relevancia dadas las características de este sector económico “ y concluye que “la presente ley hace compatible una política energética basada en la progresiva liberalización del mercado con la consecución de otros objetivos que también le son propios como la mejora de la eficiencia energética, la reducción del consumo y la protección del medioambiente.” esta Ley establece las normas de funcionamiento en un mercado liberalizado, fija un precio para las energías renovables en una banda entre el 80 y el 90 por ciento del precio medio de la electricidad y contempla la elaboración del citado Plan de Fomento, que marcará los objetivos y plazos necesarios para conseguir los objetivos contenidos en la Ley. (Asociación de Productores de Energías Renovables APPA, 2003)

Plan Fomento en España.

La Ley se completaba con la aprobación en diciembre de 1999 del Plan de Fomento de las Energías Renovables que fijaba unos objetivos de potencia instalada que debían alcanzar en el

2010 cada una de las tecnologías y que para la eólica era de 8.974 MW, objetivo que hay que entender como un mínimo y no como una meta final. El brutal aumento de la demanda eléctrica desde entonces, con una media superior al 5 por ciento entre 1998 y el 2002, aumento que hacía inviable lograr en este apartado el objetivo general del 12 por ciento de renovables en la energía primaria para el 2010, hizo al Gobierno revisar dichos objetivos por tecnología y plasmar en el Plan de Infraestructuras aprobado en noviembre de 2002 una nueva cifra para las distintas tecnologías y que para la eólica quedó en 13.000 MW. (Asociación de Productores de Energías Renovables APPA, 2003)

Para Aerogeneradores.

Según la norma técnica NTC 5725 El aseguramiento de la calidad debe ser parte integral del diseño, la adquisición, construcción, instalación, funcionamiento y mantenimiento de los aerogeneradores y de todos sus componentes, se recomienda que el sistema de calidad rijá bajo la norma ISO 9000.

Su propósito es brindar un grado adecuado de protección contra el daño debido a peligros derivados de estos sistemas durante su vida útil planificada.

CAPITULO IV

4. Metodología

En el panorama actual sufrimos a nivel mundial una crisis ambiental a causa del uso de las tecnologías tradicionales que reducen el recurso energético, por esto surge una investigación frente a la implementación y utilización de la energía eólica en Colombia. En la actualidad se desarrollan varios proyectos energéticos, pero no son suficientes frente al cambio climático y el agotamiento de los recursos.

La metodología implementada en este proyecto se establece mediante una investigación exploratoria, ya que en la actualidad las investigaciones realizadas sobre aerogeneradores sin aspas son escasa y no se puede acceder a los datos específicos de fabricación, por lo cual, cada fase de la construcción debe realizarse bajo el esquema prueba - error.

De este modo la metodología se ha dispuesto en tres fases

4.1 Etapa I Estado del arte

Se realiza una consulta bibliográfica de artículos en las bases de datos correspondiente al estado del arte de proyectos similares, bobinas, aerogeneradores, y tecnologías alternativas.

4.2 Etapa II Diseño

Se elabora el diseño de un plano general del prototipo de aerogenerador sin aspas a realizar, con el fin de evidenciar su versatilidad adaptable al entorno al cual se pretenda instaurar por su facilidad al armar y desarmar, por lo cual su funcionalidad principal consta de dos partes importantes las cuales son; un cono vibracional, el cual sirve para acaparar en la totalidad de su estructura las velocidades de las corrientes variables del viento y un eje magnético el cual ira

anclado a la base y tiene como finalidad aprovechar los vórtices generados en el cono, para así producir movimientos que generen electricidad, por esto se elabora el prototipo en un software de diseño asistido por computadora generalmente utilizado para dibujo 2D y modelado 3D llamado *AutoCAD*. Esto nos permite presentar las diferentes vistas conforme al modelo del prototipo de aerogenerador formulado para su posterior construcción.

4.3 Etapa III Construcción

Como se ha establecido con anterioridad en la parte de la construcción del aerogenerador sin aspas se debe tener en cuenta que consta de dos partes esenciales; el cono vibracional y la base de bobinas, por esto se procede a investigar qué tipo de materiales son apropiados para su construcción, teniendo en cuenta que nos encontramos en un entorno en el cual podemos implementar el aprovechamiento de elementos reciclables que promuevan la ideología de responsabilidad social y sirvan como ejemplo para ser aplicables en los proyectos que se estén desarrollando en la actualidad comprometidos con el medio ambiente.

Cuando se hace la identificación de los posibles materiales con los cuales se puede hacer la construcción del aerogenerador sin aspas, se puede verificar que esto ayuda a que el prototipo sea más liviano, se minimicen los costos y reduzcan los desperdicios de producción. También se puede diseñar un sistema de procesos el cual minimice los tiempos de realización del prototipo, ya que se pueden hacer estandarización de procesos.

4.4 Etapa IV Pruebas de Funcionamiento

Para verificar la funcionalidad del diseño del aerogenerador sin aspas, se realizan varias pruebas a medida que se va avanzando en la construcción de las diferentes fases de elaboración del prototipo.

Se hicieron dos pruebas principales en las cuales se pudieron obtener diferentes conclusiones para el desarrollo del funcionamiento del aerogenerador entre las cuales se pueden resaltar lo siguiente:

- Cuando se realizó la prueba en el parque el Tunal, pudimos observar que a cualquier velocidad del viento el prototipo generaba movimiento, pero no podíamos dejar a un lado que este se estaba deformando en su estructura interna, ya que el peso del aerogenerador y las grandes velocidades del viento impactaban de forma muy brusca el prototipo, por lo cual fue necesario, reestablecer la altura del mismo y algunos materiales que se estaban implementando , al igual que diseñar una parte fraccional adicional la cual otorgara equilibrio al diseño.
- Posteriormente en la prueba realizada en Canoas (Soacha), se destacó la importancia de la altura en el prototipo, al igual se evidencio que los materiales adaptados para la construcción hicieron que el prototipo fuera resistente al cambio de clima y velocidades del viento.

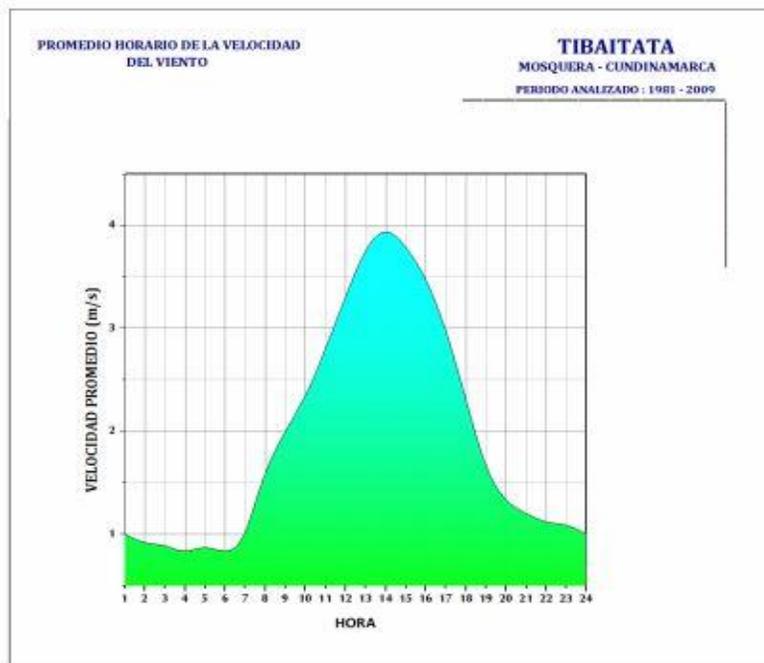
4.5 Análisis de resultados

Para poder realizar el análisis de los resultados obtenidos después de la construcción y prueba de funcionamiento del aerogenerador sin aspas, es importante tener en cuenta todos los aspectos fundamentales de su construcción, como lo son; velocidades del viento, materiales, estructura, altura.

En cuanto a las velocidades del viento es muy importante tener en cuenta a qué hora se realiza la medición, ya que, según conclusiones del grupo desarrollador del proyecto, pudimos

establecer que en la tarde es cuando se reflejan mayores velocidades y esto se puede verificar con los datos suministrados por el Ideam.

Figura 1 Promedio horario de velocidad del viento.



Fuente. Ideam, Atlas del viento de Colombia.

Con los materiales de elaboración, se debe tener en cuenta cada uno de los que se utilizan en el prototipo, la vida útil de cada uno de estos, para así garantizar la durabilidad del aerogenerador, por otro lado, variabilidad de la altura de la estructura es vital para de esta manera generar mayor aprovechamiento de las velocidades del viento.

CAPITULO V

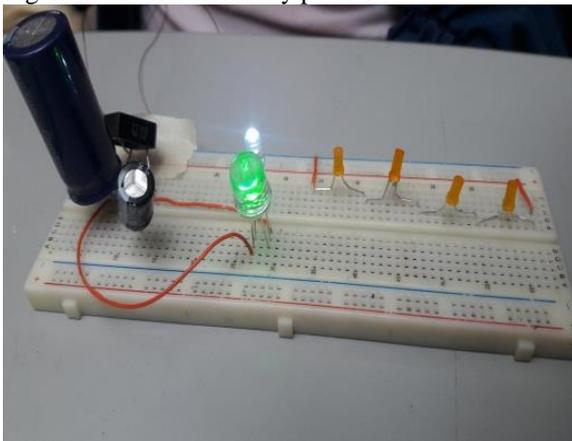
5. Resultados

5.1 Etapa I Estado del arte

Se inicia como referencia un proyecto planteado por la compañía española Deutechno S.L. el cual es patrocinado por la Fundación Repsol a partir de un diseño de aerogenerador en forma de tubo fabricado con materiales piezoeléctricos y fibra de vidrio o fibra de carbono (Fondo Emprendedores Repsol). Este proyecto es semejante y permite a partir de su estructura y funcionalidad, buscar un mecanismo reciclable y de fácil accesibilidad para construir un prototipo de aerogenerador no convencional.

Cuando se verifico el estado del arte sobre bobinas y el campo magnético que produce un imán de neodimio al tener contacto con un embobinado de cobre, se realizó una prueba verificando la funcionalidad mediante la elaboración manual de un circuito simple conectado a una bobina de 1599 vueltas, que dio como resultado la iluminación de un bombillo led, para lograrlo se hizo una conexión en paralelo y serie sobre el mismo montaje.

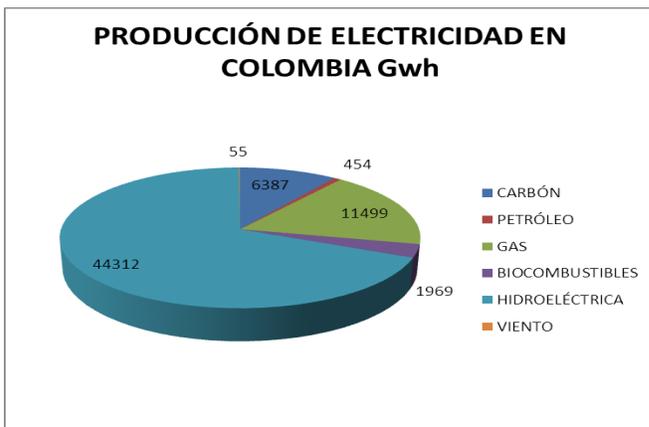
Figura 2 Circuito en serie y paralelo.



Fuente: Autores. (2016)

En la imagen N° 3 se evidencia la funcionaria del circuito conectado a la bobina elaborada por el grupo de trabajo.

Figura 3. Producción de electricidad en Colombia.



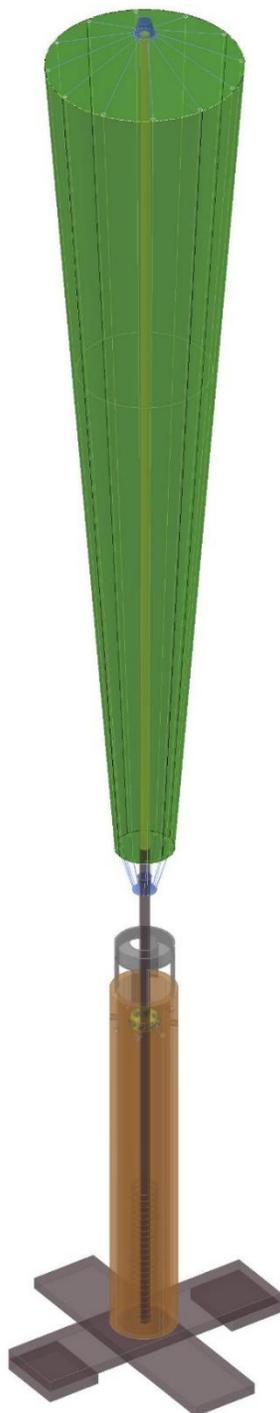
Fuente. International Energy Agency-IEA- Estadísticas Colombia Electricidad y Calor

La mayor producción de energía producida en Colombia corresponde a las Hidroeléctricas con 44.312 Gwh, se puede pensar que tal vez, como tenemos tantas fuentes de agua pueden ser aprovechadas para la generación de energía esto ha impedido que se revise el panorama actual el cual evidencia que no solo se puede aprovechar las fuentes hídricas si no también una muy importante como el viento la cual no genera costo y es asequible.

5.2 Etapa II Diseño

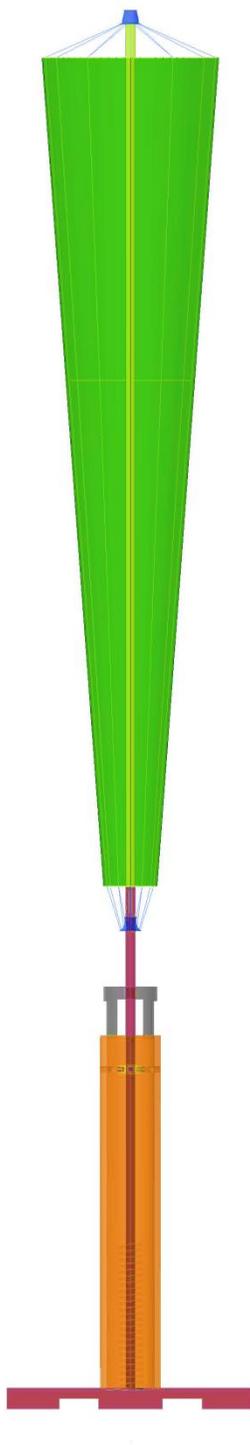
Se diseña un prototipo de aerogenerador sin aspas así:

Figura 3 Plano general.



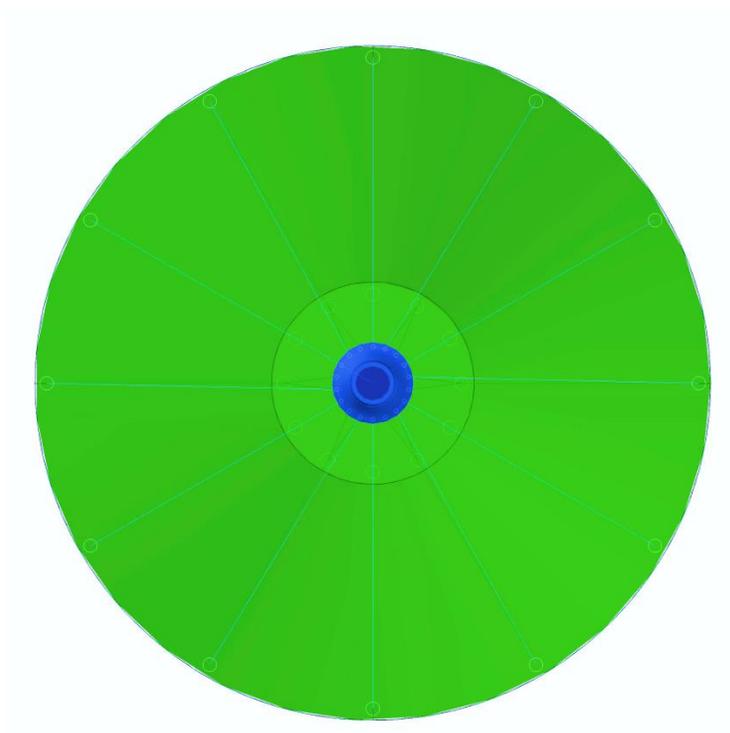
Fuente: Autores. (2016)

Figura 4 Cara frontal



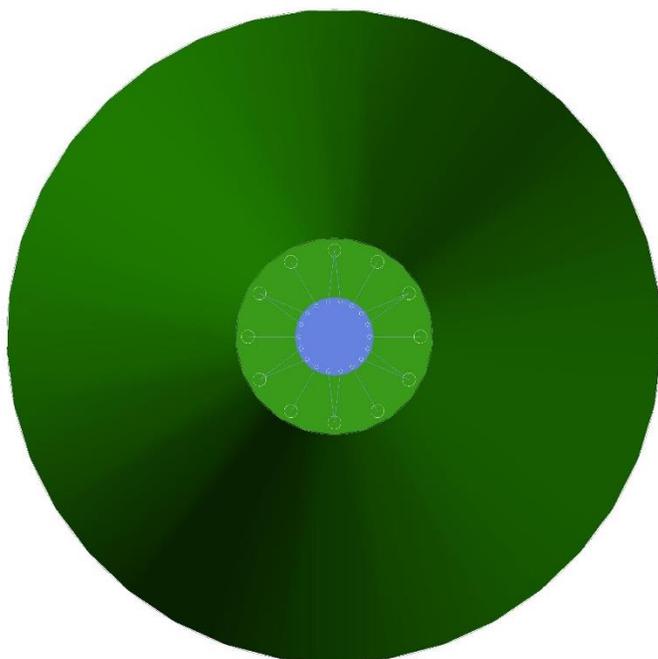
Fuente: Autores. (2016)

Figura 5 Cara superior cono vibracional



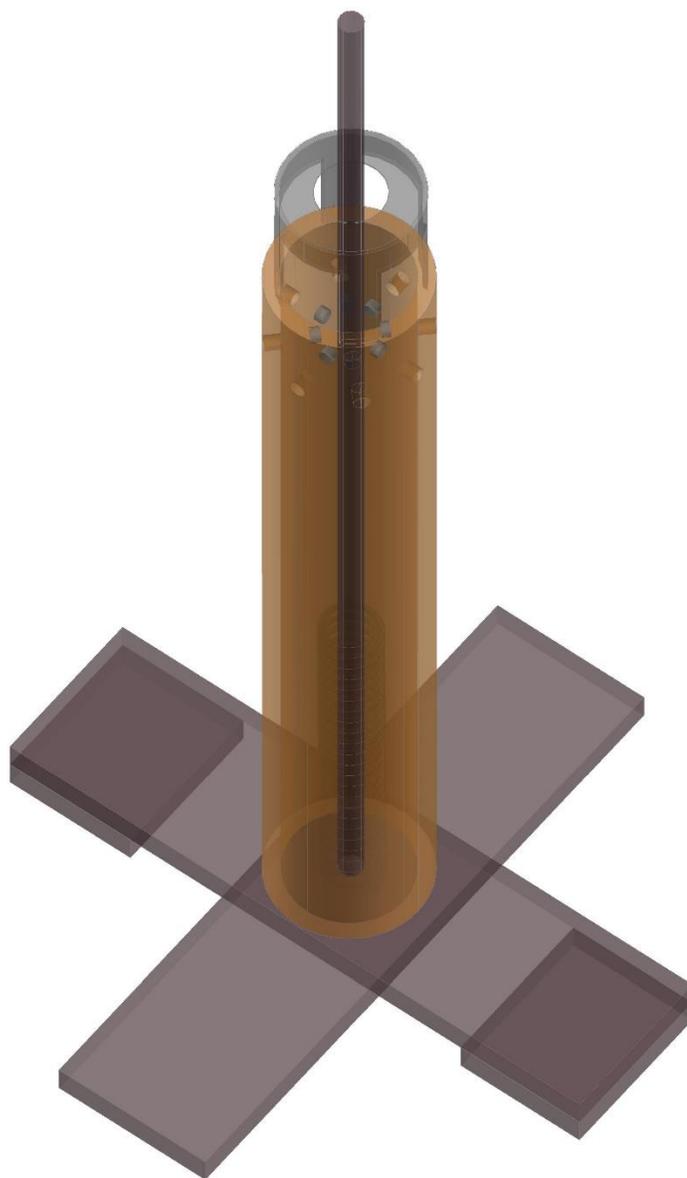
Fuente: Autores. (2016)

Figura 6 Cara inferior cono vibracional



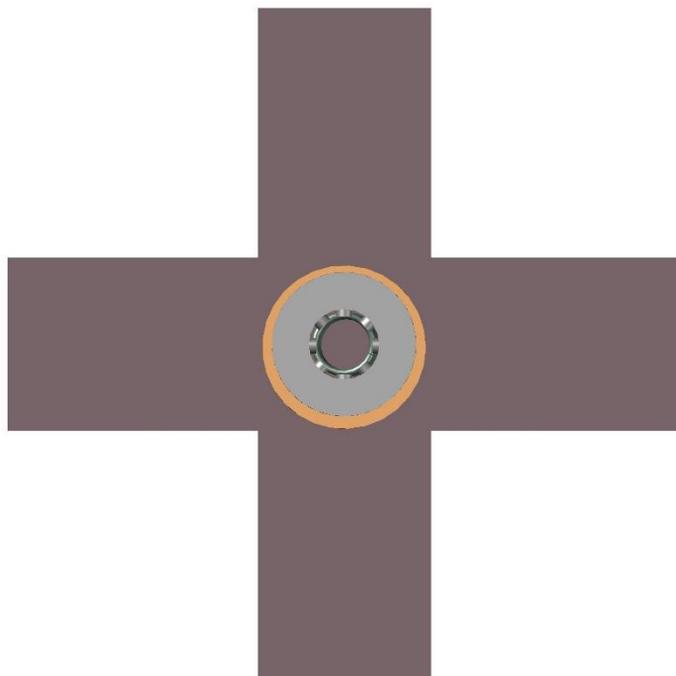
Fuente: Autores. (2016)

Figura 7 Plano general eje magnético



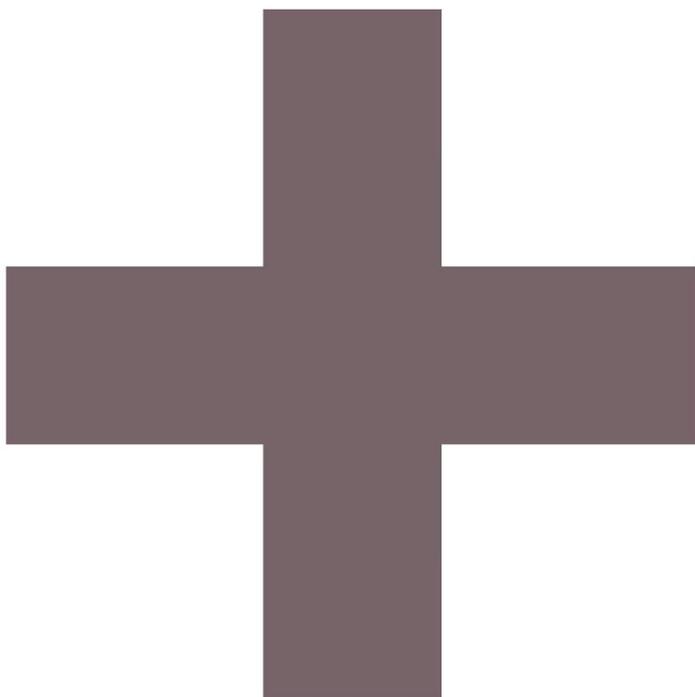
Fuente: Autores. (2016)

Figura 8 Cara superior eje magnético



Fuente: Autores. (2016)

Figura 9 Cara inferior eje magnético



Fuente: Autores. (2016)

5.3 Etapa III Construcción

Para la ejecución del proyecto se evidencia que su elaboración en gran proporción puede ser en materiales reciclables apropiados, para su funcionamiento, como lo son algunos de los cuales se encontraron fueron materiales en pvc, piezas en acero, hierro y aluminio.

Para la construcción del cono vibracional se reúnen una serie de piezas específicas

Figura 10 Manzana de bicicleta usada.



Fuente: Autores. (2016)

Se utiliza para fijar los extremos que le dan forma cónica a la parte interna del aerogenerador.

Figura 11 Materiales de usados en la construcción.



Fuente: Autores. (2016)

Algunos materiales de ferretería fueron usados para dar precisión y asegurar las piezas dentro del proceso de construcción.

Figura 12 Estructura interna.



Fuente: Autores. (2016)

La estructura interna se tiene a partir del bosquejo de un aerogenerador, para este se utilizan tres discos de poliestireno de diferentes tamaños, y se unen con las manzanas por medio de alambre galvanizado, lo cual logra darle forma cónica.

Se realiza construcción de la cubierta del aerogenerador, la cual se encarga de fortalecer la forma cónica, esta aprovecha los movimientos del viento evidenciados en las pruebas realizadas en el municipio de Canoas (Soacha).

Figura 13. Cubierta Estructura.



Fuente: Autores. (2016)

Para la construcción del eje base de bobinas se reúnen una serie de piezas específicas como son tubo de pvc, hierro, imanes de neodimio, alambre de cobre, y tornillos.

Una vez construida en su totalidad la estructura y verificar su estabilidad y las oscilaciones con facilidad, se lleva a prueba con el circuito adaptado para evidenciar la generación de energía.

Figura 14. Generación de energía.



Fuente: Autores. (2016)

Se demuestra el funcionamiento de las bobinas, la cual evidencia la generación de energía por las vibraciones que se producen en la estructura, a partir de la conducción de energía por medio de las espiras al momento de tener el contacto superficial con los imanes de neodimio.

5.4 Etapa IV Pruebas de funcionamiento

Figura 15. Prototipo del Aerogenerador sin aspas.



Fuente: Autores. (2016)

Es el resultado de crear un prototipo no convencional de aerogenerador que emplee la fuerza electromagnética para la producción de energía eléctrica.

Obteniendo el prototipo final del aerogenerador sin aspas se pueden tomar las respectivas mediciones para verificar su capacidad.

5.5 Análisis de resultados

Tabla 2

Muestra en vientos de 2,5m/s

42 oscilaciones x min		
N° OSCILACIONES	A	V
1	5,1	128,195
2	4,8	130,2
3	2,3	134,1
4	4,3	56
5	1,7	138
6	4,9	87,3
7	1,3	12,7
8	5,1	119,1
9	3,2	104,5
10	6,1	164,2
11	0,8	173,5
12	5,4	24,3
13	4,3	24,9
14	5,3	44,1
15	1,7	73,9
16	4,8	82,4
17	4,6	178,4
18	0,1	90
19	0,8	143,6
20	1,2	78,4
21	1,3	130,2
22	4,2	34,1
23	3,5	119
24	0,8	52,1
25	3,9	18,7
26	0,7	17,7
27	1,8	193
28	2,3	6,1
29	2,6	159,3
30	4,8	97,1
31	4,6	27
32	3,6	34,2
33	3,2	181,5
34	1,4	198,4

35	2,9	189,9
36	4,8	53
37	3,6	44
38	5,5	181,3
39	3,6	177,9
40	0,6	73,2
41	3,6	137,4
42	2,5	88,4

Fuente: Autores. (2016)

Nota. Datos obtenidos en prueba realiza en Canoas (Soacha) con velocidades del viento de 2.5 m/s.

Tabla 3

Muestra en vientos de 1,5m/s

65 oscilaciones x min		
N° OSCILACIONES	A	V
1	6,3	12,5
2	6,3	16,9
3	0,4	15,3
4	0,7	23,5
5	0,7	26,5
6	6,1	60,8
7	1,8	17,7
8	2,3	20,08
9	1,1	21,2
10	1,4	46,8
11	0,6	12,5
12	2,2	118,6
13	0,4	55,4
14	0,6	107,6
15	0,5	181,1
16	0,3	159,5
17	0,1	10,2
18	1,5	70,1
19	1	170,7
20	2,5	20,1
21	1,6	134,2
22	3,3	35,3
23	2,4	39,7
24	0,3	47,6
25	2,5	140,9
26	1,3	18,9
27	2,1	92,9
28	3,3	10,7
29	1,8	-1
30	2,9	77,6
31	1,9	148,9
32	2,7	68,7
33	3,1	50,5
34	2,2	130,3
35	3,6	17,1
36	3,6	114,1
37	3,9	115,1
38	3,4	62,1

39	3,3	44,8
40	2,1	34,1
41	3,3	174
42	2,2	-1
43	3,2	101,2
44	2,6	1
45	4,5	115,3
46	4,3	112,7
47	3,2	1
48	3,8	17,1
49	3,1	1
50	3,7	10,8
51	2,5	103,8
52	3,8	159,6
53	2,1	96,3
54	1,2	82,1
55	3,1	108,9
56	1,1	1
57	1,5	151,2
58	2,8	58
59	2,5	30
60	0,5	145,6
61	3,8	130,2
62	3,8	159,6
63	1,5	90,1
64	2,6	117,9
65	0,9	117,9

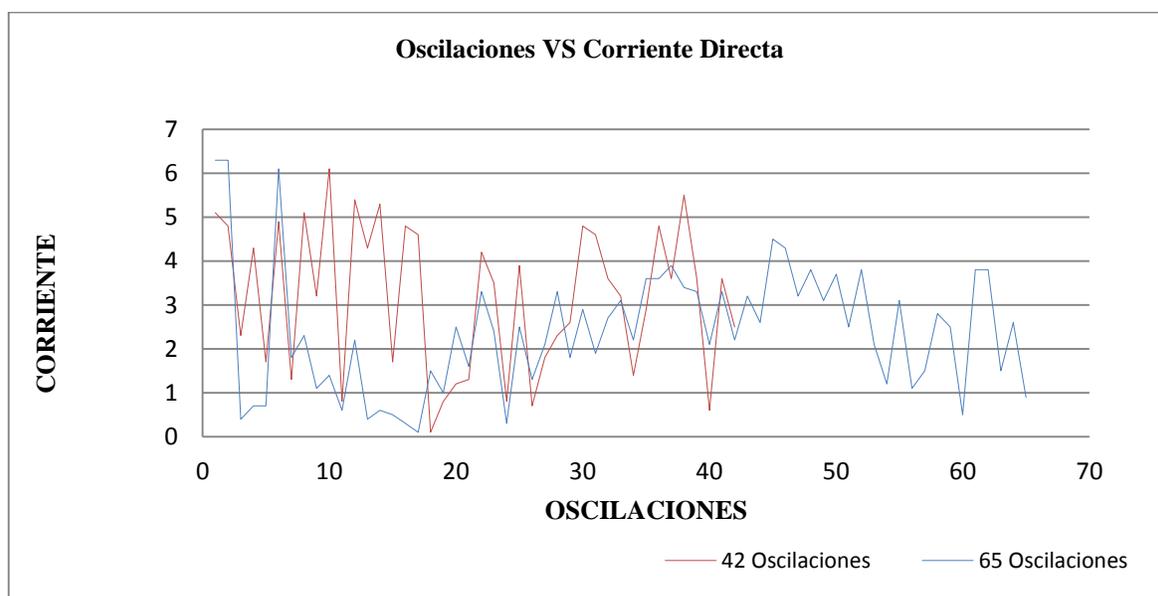
Fuente: Autores. (2016)

Nota. Datos obtenidos en prueba realiza en el Parque el Tunal con velocidades del viento de 1.5 m/s.

Como se evidencia en las Tablas N° 4 y 5 se tomó una muestra de la DC y DV que emite cada oscilación en el Aerogenerador sin aspas dependiendo la ubicación geográfica en la cual este instalado teniendo en cuenta las velocidades del viento.

Se Registran 42 oscilaciones por minuto cuando se hacen pruebas en canoas (Soacha) ya que la velocidad del viento tiene un aproximado de 2.5m/s. al contrario de los datos suministrados de una muestra tomada en el parque el Tunal (Bogotá) con velocidades del viento que oscilan entre 1.5 m/s y 2m/s donde se necesitan 62 oscilaciones por minuto para lograr generar electricidad.

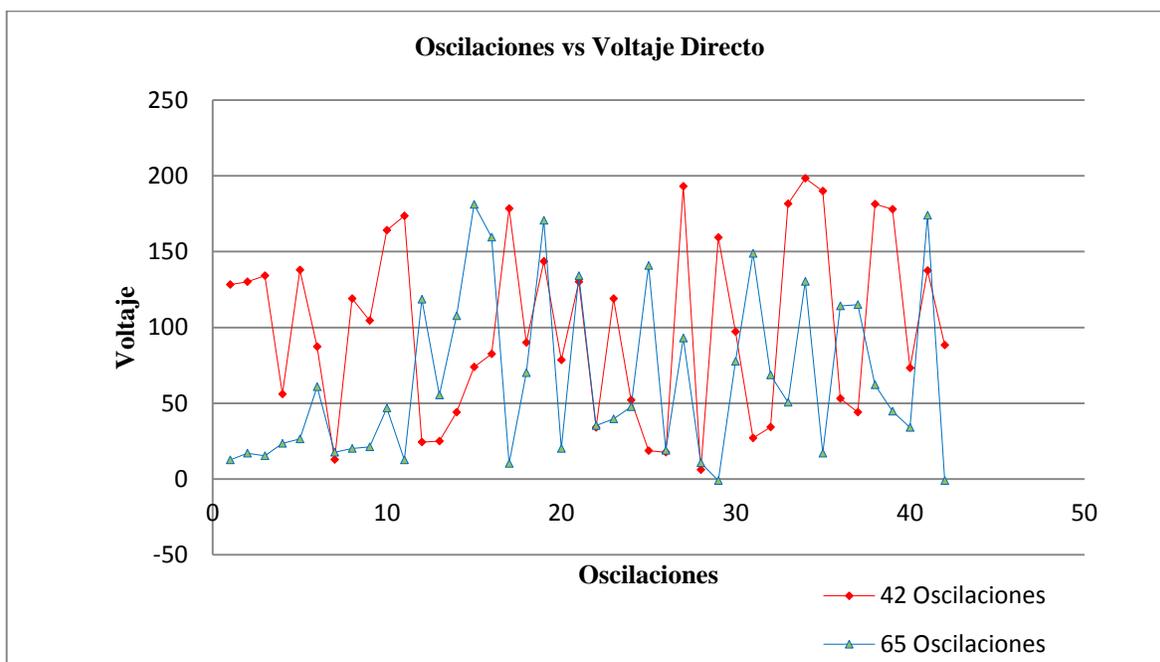
Figura 16. Oscilaciones vs corriente directa.



Fuente: Autores. (2016)

La grafica evidencia que entre menos oscilaciones más corriente directa emitirá el aerogenerador sin aspas. Teniendo claro que las oscilaciones menores tienen frecuencias en cientos de 2.5m/s.

Figura 17 Oscilaciones vs voltaje directo.



Fuente: Autores. (2016)

Se genera más voltaje directo, con oscilaciones correspondientes a vientos con fuerza de 2.5 m/s.

Para determinar la potencia del aerogenerador sin aspas, se evaluó con un promedio correspondiente a cada tipo de oscilación y se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 4

Potencia de 42 Oscilaciones.

42 Oscilaciones	
Corriente	3,18
Voltaje	100,03
Potencia	318,19 W

Fuente: Autores. (2016)

Tabla 5

Potencia de 65 Oscilaciones.

65 Oscilaciones	
Corriente	2,40
Voltaje	71,31
Potencia	170,80 W

Fuente: Autores. (2016)

La potencia que se obtiene evidencia capacidad de energía aportada por el aerogenerador sin aspas en 42 oscilaciones por minuto y 65 oscilaciones por minuto respecto a la velocidad del viento.

La proyección de potencia es a un minuto, lo que quiere decir que en una hora se producirá una potencia de:

Tabla 6

Potencia de 42 Oscilaciones en una hora.

42 Oscilaciones	
Potencia	19091,60 J

Fuente: Autores. (2016)

Tabla 7

Potencia de 65 Oscilaciones en una hora.

65 Oscilaciones	
Potencia	10248,30 J

Fuente: Autores. (2016)

Los datos suministrados evidencian que los vientos de 2.5 m/s son quienes generan mayor cantidad de potencia.

Dentro de la investigación se evidencia resultados suficientes para demostrar el funcionamiento de un prototipo no convencional elaborado con materiales reciclados, de este modo se promueve a la investigación orientada a las energías alternativas que contribuyan con el cuidado del medio ambiente.

De los datos encontrados en las pruebas realizadas, podemos encender al menos 5 bombillas. Colocando en funcionamiento a lo largo de un día el aerogenerador sin aspas en condiciones normales de viento. Para ello se debe realizar una apropiación de la zona más adecuada para su instalación y adecuación del prototipo, de tal forma que se pueda aplicar a diferentes áreas en los hogares y posteriormente en las industrias, en lugares donde poblaciones son limitadas del recurso de la energía en Colombia en otras partes del mundo.

Conclusiones

Como resultado de la investigación se puede concluir que la construcción de aerogeneradores sin aspas minimiza un 100% el ruido generado por aquellos que sí las poseen, de esta forma se emprende en la construcción empírica e innovadora de una estructura no convencional, en el cual se demuestra la generación de energía, por medio de la aplicación de la ley de Michael Faraday a partir de un simple mecanismo de imanes que permiten que la estructura oscile con forme a la velocidad del viento y ésta a su vez produzca energía al contacto con un bobinado de cobre y un eje de imanes de neodimio.

Los imanes constituyen gran potencia al atraerse con el núcleo de hierro, en donde actúa el campo magnético transmitiendo energía a través de las espiras de la bobina, la pieza representa la fuerza de adentro hacia afuera aumentando el ímpetu desde el punto central hacia sus extremos lo cual permite el equilibrio de la estructura por medio del flujo magnético representado en un eje de imanes de neodimio, cada uno de 2500 gauss.

La energía producida se puede almacenar en una batería la cual puede ser implementada inicialmente para encender un determinado número de bombillas, con la investigación se demuestra su funcionamiento y su factible aplicación como desarrollo tecnológico y sustentable en los hogares y las industrias.

Durante la ejecución del proyecto, se plantea la necesidad de realizar un proyecto a partir de conocimientos y diferentes aplicaciones con la finalidad de contribuir con la mitigación del impacto ambiental y la crisis que actualmente nos abruma en todo el mundo referente al agotamiento de los recursos, buscando soluciones y alternativas con nuevas tecnologías, la investigación se enfocó en mecanismos que hicieran más fácil la obtención de energía a partir del aprovechamiento del viento.

Se demuestra que un proyecto de investigación significa dedicación y aprendizaje en muchos casos sobre temas que no se abarcan habitualmente, como auxiliares de investigación fuimos muy afortunadas de encontrarnos con profesores que dedicaron de su tiempo, para colaborarnos con la formación adecuada para la posible solución de nuestro proyecto.

Le tomamos mucho cariño a nuestro proyecto, ya que estuvimos elaborándolo desde sus cimientos, realizando experimentos en cada una etapas, pruebas de bobinas entre otros. Sin dejar a un lado que fue un trabajo elaborado a mano, cada parte de la estructura fue el resultado de varios prototipos con prueba y error, para obtener como resultado final el prototipo funcional de un aerogenerador en forma cónica sin aspas que demuestra la generación de energía eléctrica por medio de las vibraciones producidas por las corrientes del viento.

Bibliografía

Asociación de Productores de Energías Renovables APPA. (2003). *El Entorno Normativo de la Energía Eólica*. Madrid (España).

Cadena, Á. I., Botero, S., Táutiva, C., Betancur, L., & Vesga, D. (Noviembre de 2008). “Regulación para incentivar las energías alternas y la generación distribuida en Colombia” (Conclusiones). Revista de ingeniería. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. , 91-94.

Cámara Mexicana de la Industria de la construcción- Delegación Yucatán (2013). *Innovación energía piezoeléctrica*. Constructiva, revista bimestral, 244 Pp.33-32. Recuperado de: http://issuu.com/cmicyuc/docs/constructiva_novdic13_lq/35

Cobos, O. F., Reyes, J. L., & García, L. C. (2007). *Biocombustibles y su aplicación en Colombia*. Scientia et Technica (No. 34), 171-174.

Colon, D. E. (2010). *Etapas del proceso de generación eléctrica en centrales hidroeléctricas*. Cumaná, Venezuela: Universidad de Oriente

CORPOEMA, C. E. (2010). *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia* (pdfnce). UPME, Bogotá

Departamento de Ingeniería eléctrica y energética. (s.f.). *Energía Eólica*. Obtenido de

<http://www.termica.webhop.info/>

Dyner I, Zapata C, Zuluaga M (2005). *Fuentes alternativas de generación de energía, incentivos y mandatos regulatorios: una aproximación teórica al caso colombiano*. ENERGETICA, 55 - 63.

Escudero, J. (2003). *Manual de energía eólica*. México D.F.: Mundi - Prensa.

Fedesarrollo y Energía de Bogotá (2013). *Análisis de la situación energética de Bogotá y Cundinamarca*. Recuperado de:

<http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/An%C3%A1lisis-de-la-situaci%C3%B3n-energ%C3%A9tica-de-Bogot%C3%A1-y-Cundinamarca-Estudio-Fedesarrollo-EEB.pdf>

Gobierno Federal, et al. s.f. *Programa de innovación orientada. Sector de energía eólica. Aceleración de empresas tecnológicas*. Recuperado de: <http://fumeec.org/v6/htdocs/eolica.pdf>.

Gutiérrez Tapia, C., & González Damián, J. (Noviembre de 2002). *Campo magnético generado por N bobinas alineadas axialmente*. Ciencia Ergo Sum, Vol. 9(Núm. 3), 302.

León, S. J.-H. (2014). *Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social*. Revista Problemas del Desarrollo, 139-158.

Instituto Argentino de la Energía " General Mosconi". (2003). *Energía Eólica*. Argentina.

Maya, Hernández, & Gallego (2012). *La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales*. Cuadernos de Administración, 25(44), 193-231. Retrieved September 27, 2015, from

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922012000100009&lng=en&tlng=.](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-35922012000100009&lng=en&tlng=)

Motta, D. C., Aguilar, J. S., & Aguirre, E. H. (12 de 2012). *Una revisión a la reglamentación e incentivos de las energías renovables en Colombia*. Revista de la Facultad de Ciencias Económicas UMNG, XX (2), 55-67.

Murcia, H. R. (2008). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*. Revista de Ingeniería, 28, 83-89.

Noriega, C. J., & Ustos, G. E. (2009). *Recurso eólico en Colombia*. Revista Ingenio, 48-50.

Net, V. d. (3 de 03 de 2016). *Venta de generadores. Net*. Recuperado el 10 de 09 de 2016, de Cómo ha sido la Evolución de la Energía a lo largo de la Historia: <http://www.ventageneradores.net/blog/la-evolucion-la-energia-lo-largo-la-historia/>

Ochoa, C. M., Betancur, J. D., & Múnera, Ó. M. (Enero - Junio de 2012). *La valoración de proyectos de energía eólica en Colombia bajo el enfoque de opciones reales*. Revistas científicas Pontificia Universidad Javeriana, 193 - 201.

ONUDI, Organización de las naciones Unidas para el Desarrollo de la Industria. (2003). *Desarrollo de la energía para satisfacer las necesidades del desarrollo*. UNESCO WWW-AP. THE 1st UN WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT: Water for People, Water for Life. UNESCO y PMEA. París, Francia. Recuperado de: http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr1/pdf/chap10_es.pdf

Owman, Walfridsson, Leijon, Dahlgren y Frank (2000). *Windformer, energía eólica a gran*

escala Revista ABB. España. ISSN 1013-3135, N° 3, 2000, págs. 31-37. Recuperado de: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=147134>

P., A. L. (2006). *Plan Energético Nacional Contexto y Estrategias 2006-2025*. Bogotá DC: Teresa Huertas Molina.

Pardo (16 de junio de 2015). *Molinos de vientos sin aspas*. El Mundo. Recuperado de: <http://www.elmundo.es/ciencia/2015/06/16/557f178322601d2e518b45a5.html>

Paul W. Stackhouse, J. P. (s.f.). *Nasa surface meteorology and solar energy: recreen data*. Recuperado el 2016, de Atmospheric Science Data Center: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/recreen.cgi?email=rets%40nrcan.gc.ca&step=1&lat=4.5720&lon=-74.1337&submit=Submit>

Pinilla (2008). *El poder del viento*. Revista de Ingeniería, 28, 64-69. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. rev.ing. ISSN. 0121-4993

Queenergía (2014). *El futuro de la energía eólica: 9 innovaciones*. Recuperado de: <http://queenergia.com/energias-renovables/el-futuro-de-la-energia-eolica-9-innovaciones-parte-i/>

Quijano Hurtado, Ricardo y Domínguez Bravo, Javier (2008): *Diseño de un proyecto integrado para la planificación energética y el desarrollo regional de las energías renovables en Colombia basado en sistemas de información geográfica*. En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.),

Raymond A. Serway y John W. Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna* (Vol. 2). México: Cengage Learning Editores.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2006). *Atlas de viento y energía eólica de Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) (2010). *Proyección de Demanda de Energía en Colombia Revisión Octubre de 2010*. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Energia/PROYECC_DEMANDA_ENERGIA_OCTUBRE_2010.pdf

UPME. (2010). *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia*. Bogotá.

YOUNG, H. D. (2009). *Física universitaria, con física moderna* (Vol. 2). México: Pearson Educación. Departamento de Ingeniería eléctrica y energética. (s.f.). *Energía Eólica*. Obtenido de <http://www.termica.webhop.info/>

Noriega, C. J., & Diaz Bustos, G. E. (s.f.). *Recurso Eólico en Colombia*. Ocaña.

Tippens, Paul E. (2007). *Física : Conceptos y Aplicaciones*. Mexico: Mc Graw Hill - Interamericana .

UPME. (2010). *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia*. Bogotá.

Anexos

Anexo 1: Diagrama de bloques construcción de aerogenerador