

**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

Tania Geraldine Blanco Rocha

CORPORACION UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS - UNIMINUTO

Ingeniería Industrial

Bogotá D.C.

2017

**CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA**

Tania Geraldine Blanco Rocha

Trabajo de grado dirigido por:

Ing. Freddy Alfonso

Ing. Paola Umbarila

Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO

Ingeniería Industrial

Bogotá D.C.

2017

Proyecto final de graduación presentado el día xx de marzo de 2017 en la Facultad de Ingeniería de la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO para optar por el grado de Ingeniera Industrial ante el siguiente Tribunal examinador.

Xxxxxxxx

Xxxxxxxx

Xxxxxxxx

Xxxxxxxx

DEDICATORIA

A mis padres Nubia y Eduardo por su apoyo y motivación,
por sus enseñanzas y sus infinitas expectativas
por hacer de mí una excelente profesional.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por fortalecerme y darme la sabiduría necesaria para finalizar esta etapa académica.

Al Director del programa, Ing. William Pulido.

Por su apoyo y comprensión a lo largo del proceso de culminación del proyecto.

A mis tutores.

Quienes a través de su experiencia me dieron el soporte necesario para terminar este proyecto de grado.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	13
---------------------------	----

CAPITULO I

OBJETO DE LA INVESTIGACION	15
1. Tema de Investigación.....	15
1.1. Tema	15
1.2.Resumen	15
1.3. Planteamiento del problema	16
1.4. Pregunta de investigación	17
1.5. Justificación	17
2. Objetivos	18
2.1.Objetivo general	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. Alcance	18
3.1.Alcances	18

CAPITULO II

MARCO TEORICO – DEFINICIONES CONCEPTUALES

1. Palabras clave.....	21
2. Marco conceptual.....	21
2.1. Energías alternativas.....	21
2.2. Energía eólica.....	23
2.3. Aerogeneradores.....	23
2.4. Funcionamiento de un aerogenerador horizontal.....	25
2.5. Principio del tubo de Venturi.....	26

CAPITULO III

MARCO TEORICO – RECURSOS NATURALES

1. Recursos naturales inagotables.....	30
2. Algunas características de los recursos naturales inagotables.....	30
3. Importancia de los recursos naturales inagotables.....	31

CAPITULO IV

MARCO TEORICO – FACTORES DE VIENTO

1. Factores que influyen en la cantidad de potencia del viento.....	33
---	----

2. Comportamiento de los vientos en superficie en Colombia.....	33
2.1. Bogotá. Aeropuerto el dorado pista 1-2 – departamento de Cundinamarca.....	34

CAPITULO V

ESTADO ACTUAL DEL TEMA

1. Antecedentes y avances actuales.....	37
2. Aplicaciones con turbinas eólicas usando mecanismos para acelerar el viento.....	38

CAPITULO VI

METODOLOGIA

1. Metodología.....	45
---------------------	----

CAPITULO VII

CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

1. Diseño del prototipo.....	47
2. Mediciones del viento en el prototipo.....	49
2.1. Medición en el edificio UNIMINUTO.....	49
2.2. Medición con un mini ventilador.....	50
3. Calculo de potencia en el prototipo.....	52
4. Analisis de los datos.....	59

5. Producto final.....62

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Conclusiones.....67

BIBLIOGRAFIA.....68

TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1: Aerogenerador vertical.

Figura 2: Aerogenerador horizontal.

Figura 3: Partes de un aerogenerador.

Figura 4: Efecto Venturi

Figura 5: Aerogenerador INVELOX

Figura 6: Edificio Bahrein World Trade Center

Figura 7: Diseño primer prototipo

Figura 8: Diseño prototipo final.

Figura 9: Prototipo real.

Figura 10: Aerogenerador adaptado a la tobera.

Figura 11: Amplificador de voltaje y corriente.

Figura 12: Baterías recargables.

TABLA DE CONTENIDOS DE GRAFICOS Y TABLAS

Grafico 1: Medición edificio UNIMINUTO

Grafico 2: Medición con el ventilador

Grafico 3: Curva de potencia del aerogenerador.

Grafico 4: Almacenamiento de energía

Tabla 1: Experimentos con tobera

Tabla 2: Experimentos sin tobera

Tabla 3: Experimentos finales con tobera

Tabla 4: Experimentos finales sin tobera

Tabla 5: Desviación estandar experimento con tobera

Tabla 6: Desviación estandar experimento sin tobera

Tabla 7: Datos de almacenamiento

INTRODUCCION

Este proyecto de investigación trata temáticas relacionadas con el uso de energías alternativas para el desarrollo de un proyecto que establezca soluciones objetivas de eficiencia energética enfocadas hacia el sector industrial en aplicaciones como iluminación o en la manufactura de productos.

Mediante este proyecto, se hará uso de energía eólica a través de un prototipo que posee la utilización del Efecto Venturi con el fin de acelerar el viento en el interior del prototipo y así mejorar la eficiencia del aerogenerador para que pueda ser usado en zonas urbanas donde la velocidad de éste fluido es generalmente baja.

Con este trabajo de investigación, se busca proponer una opción diferente a las tecnologías convencionales para el aprovechamiento del viento como recurso energético y se espera que como consecuencia de su implementación contribuya a mitigar los problemas ambientales y sociales generados por las hidroeléctricas y centrales térmicas.

Adicionalmente, lo que va a permitir este planeamiento es mitigar el impacto ambiental y social causado por las hidroeléctricas, iniciando con la inclusión de energías renovables en el sector industrial para así reducir los costos generados en dicho sector y mejorar el estado actual del ambiente.

CAPITULO I

OBJETO DE LA INVESTIGACION

1. TEMA DE INVESTIGACION

1.1 EL TEMA

El tema del proyecto de investigación se titula:

“Construcción de un prototipo para mejorar la eficiencia energética”

1.2. RESUMEN

Se presenta el desarrollo de un proyecto enfocado hacia el sector industrial, consiste en un prototipo eólico que utiliza un dispositivo que acelera el viento utilizando el efecto Venturi para mejorar la eficiencia del mismo con el fin de ser usado en zonas urbanas, y de la misma manera mitigar el impacto ambiental producido por el uso de fuentes convencionales de energía para la generación de energía eléctrica y su posterior consumo.

El prototipo consiste en una tobera ubicada en forma horizontal en la cual la sección transversal final es menor a la sección transversal inicial lo que permite que se haga el correcto aprovechamiento del efecto Venturi. Al final de la sección transversal menor se encuentra un aerogenerador que va conectado a una batería y es de esta manera que es posible el funcionamiento de cualquier equipo grande o pequeño que requiera energía eléctrica.

Se espera inicialmente que el prototipo diseñado ilumine un edificio a escala a partir del almacenamiento de energía eléctrica en una batería.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al calentamiento global y el cambio climático es relevante la inclusión de energías que no dependan de combustibles fósiles y/o energías convencionales que escaseen ya sea por su baja existencia o por fenómenos climáticos como el caso de la energía hidroeléctrica. Las fuentes de energía renovable (ER) son recursos ilimitados que aprovechados con tecnologías apropiadas e impulsados correctamente por políticas gubernamentales, pueden sustituir a las energías convencionales.

En Colombia, es escaso el nivel de participación de las tecnologías que aprovechan las ER y por tanto en épocas soleadas muy largas se deben hacer ajustes en el servicio eléctrico. Dentro de la participación de las ER en el país es representativo el parque de Jeripachí en la Guajira donde debido a las velocidades de los vientos es posible implementar aerogeneradores para la generación de electricidad, sin embargo, en lugares donde las velocidades de los vientos son bajas, es difícil que la energía eólica pueda explotarse, por lo que deben buscarse tecnologías apropiadas que permitan acelerar los vientos y generar electricidad en estas condiciones, esto podrá contribuir a mejorar la seguridad y eficiencia energética.

1.4. PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Qué prototipo de energía eólica puede satisfacer la demanda energética del sector urbano, que se caracteriza por baja velocidad de los vientos y por ende baja potencia eólica?

1.5. JUSTIFICACION

La motivación para realizar esta investigación, es la necesidad de hacer uso de herramientas distintas (Energías renovables) que no solo disminuyan la contaminación ambiental sino que también reduzcan costos en el sector industrial, ya que, por su actividad económica pueden generar altos costos en energía.

Se ha escogido este proyecto porque es importante mitigar el impacto ambiental que se produce a través de las hidroeléctricas (Energía convencional de Colombia), destacadas a nivel nacional como: Central Hidroeléctrica de Chivor ubicada cerca al municipio boyacense Santa María, Central Hidroeléctrica Jaguas y Central Hidroeléctrica San Carlos, ubicadas en Antioquia, entre otras, que según López (2009) ha generado desplazamiento del 26% de la población rural, inundaciones de cultivos, pérdida de biodiversidad de ríos y destrucción de bosques, entre otras.

Teniendo en cuenta la información anterior se hace relevancia en la importancia de utilizar energías alternativas, en este caso específico energía eólica, que no solo permitirán el manejo adecuado del medio ambiente sino que permitan reducir los costos generados por la energía actual utilizada, pues es de saber que el uso de energía eólica

tiene una vida útil entre quince y veinte años (Ahumada, 2015) lo que libera el uso de recursos que normalmente se asignan a gastos de energías convencionales,.

2. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un aerogenerador que utilice un dispositivo que acelere el viento utilizando el efecto Venturi para la generación de energía eléctrica.

1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Realizar el diseño del prototipo que funcionará por medio de energía eólica usando el efecto Venturi.
2. Construir el prototipo de acuerdo a las condiciones establecidas en el diseño.
3. Establecer el funcionamiento apropiado de acuerdo a las correcciones de diseño.

2. ALCANCE

2.1. ALCANCES

La construcción del prototipo eólico permitirá evaluar el funcionamiento de un dispositivo de energías renovables (Energía eólica) con velocidades de viento demasiado bajas.

Este prototipo de eficiencia energética, inicialmente alimentará una batería de 9,6V que permitirá la generación de energía eléctrica para un metro de cinta Led's.

CAPITULO II

MARCO TEORICO – DEFINICIONES CONCEPTUALES

1. PALABRAS CLAVE

Costo, Desarrollo, Energía, Energías renovables, Generación de Energía, Generadores.

2. MARCO CONCEPTUAL

Actualmente se ha destacado la importancia de cuidar el medio ambiente y de generar herramientas que permitan disminuir y evitar los desechos que día a día acaban con el mismo, es por esto que ha generado la motivación a emprender distintos procesos que no solo reduzcan la contaminación sino que aumenten la calidad de vida de los seres humanos, pues es necesario comprender que del medio ambiente depende la comunidad y el estilo de vida que puedan llegar a tener.

A partir de esta información se hará la introducción a las energías alternativas dando a conocer su significado, funcionamiento y otros factores que definen el uso y necesidad de implementar las energías renovables (Energía eólica) en Colombia, comenzando por:

1.1. ENERGIAS ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta que las centrales energéticas convencionales dependen de energías convencionales como combustibles fósiles y en Colombia de las hidroeléctricas, la organización industrial y los factores condicionantes de cada sector para su funcionamiento óptimo, se hace la introducción del tema de Energías renovables o alternativas, las cuales a diferencia de las convencionales, son energías producidas por la naturaleza y poseen una ventaja potencial, no se agotan por su uso, por tanto aportan

contribuciones beneficiosas a la problemática del aumento del consumo y van en busca de la protección del medio ambiente. (De Juana, Santos & Crespo, 2003)

Actualmente, la mayor parte de la energía que se consume proviene de recursos fósiles, como el petróleo. La producción de energía a partir de los combustibles fósiles tiene un fuerte impacto ambiental y no es sustentable en el tiempo. Los recursos inagotables, como el sol y el viento, pueden ser una alternativa para reemplazar gran parte de la energía que consumimos.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se le llaman energías alternativas a todas aquellas fuentes de energía que son diferentes a las que se usan normalmente con el fin de disminuir el impacto ambiental que se generó con la tercera revolución industrial al ver la necesidad de limitar la emisión de gases de efecto invernadero, por lo tanto es de gran importancia dar a conocer que las energías alternativas no emiten CO₂. (De Juana, Santos & Crespo, 2003)

Básicamente las energías alternativas permiten el desarrollo correcto del medio ambiente y sumado a esto, en algunos casos ha reducido costos de distintos procesos por lo cual, se hablará de “Energía Eólica” que es el tema fundamental de este proyecto.

2.2. ENERGIA EOLICA

“La energía eólica es la que utiliza la velocidad del viento para generar electricidad. Para ello se hace uso de los aerogeneradores, los cuales mueven una turbina y consiguen transformar la energía cinética del viento por energía mecánica.”(Twenergy, 2012). Es por esto que a través de un aerogenerador, se busca el aprovechamiento energético para

la aplicación de iluminación en el sector industrial o procesos de manufactura que funcionen mediante este sistema, teniendo en cuenta la cantidad de energía que necesitan las iluminaciones del sector industrial y la energía generada por el aerogenerador.

2.3. AEROGENERADORES

2.3.1. Significado

Aerogenerador: Son máquinas utilizadas para convertir la fuerza del viento en electricidad, es decir transformar la Energía cinética (Energía de los cuerpos que se encuentran en movimiento) en Energía mecánica (Energía que tienen los cuerpos al estar en una determinada posición). (Moragues & Rapallini, 2003)

Teniendo en cuenta la información anterior, a continuación se muestran los dos tipos de aerogeneradores que existen de acuerdo a la posición del generador:

2.3.2 Aerogeneradores verticales

Este tipo de aerogeneradores se caracteriza por no requerir sistemas de orientación, lo que evita complejos mecanismos de direccionamiento y elimina los esfuerzos a que se ven sometidas las palas ante los cambios de orientación del rotor. (Moragues & Rapallini, 2003).

Teniendo en cuenta la información anterior, un aerogenerador vertical se usa más en lugares urbanos ya que no necesita la velocidad potencial y direccionada de los vientos. Es importante aclarar que las palas que van instaladas en el rotor van de forma vertical, como se observa en la Imagen 1, de manera que genera el aprovechamiento óptimo del viento.

Un aerogenerador vertical funciona de manera similar al aerogenerador horizontal, a diferencia que las palas del vertical giran hacia arriba y no necesitan mecanismo de orientación. Cabe mencionar que su producción energética es menor, debido a que es más pequeño y por tanto sus sistemas de arranque son menores.



Imagen 1 (Energías Renovables y Limpias, 2012)

2.3.3. Aerogeneradores horizontales

“Los molinos de eje horizontal son los más difundidos y los que han permitido obtener las mayores eficiencias de conversión. En su gran mayoría, la conversión de la energía disponible en el eje del rotor en otra forma de energía, se realiza mediante dispositivos ubicados sobre la torre.” (Moragues & Rapallini, 2003)

Estos aerogeneradores son los más comunes que existen y son utilizados generalmente para parques o lugares donde los vientos son fuertes y pueden entrar directamente, es decir lugares rurales.

Debido al tipo de fabricación de los molinos de eje horizontal, se produce algo de ruido, pues la velocidad que se consigue en las puntas de las palas puede generar aumentos descontrolados de la velocidad de rotación del rotor en presencia de vientos fuertes. (Moragues & Rapallini, 2003).



Imagen 2: (Energías renovables y limpias, 2012).

2.4. FUNCIONAMIENTO DE UN AEROGENERADOR HORIZONTAL

Según Hulshorst, Criado (2008), las componentes principales para el funcionamiento de un aerogenerador son los siguientes:

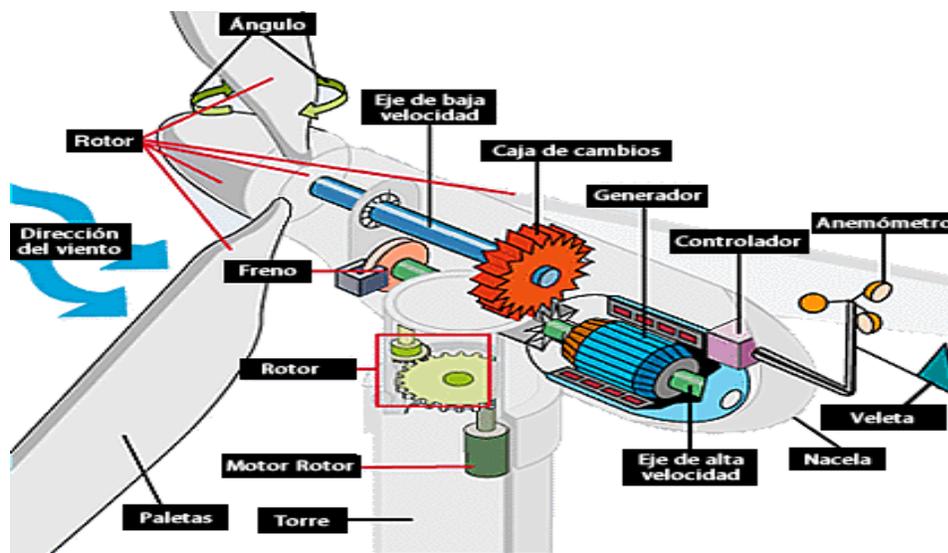


Imagen 3: Fuente tomada de (Renovables, 2008)

- **Palas del rotor:** Es donde se produce el movimiento rotatorio debido al viento.
- **Eje:** Encargado de transmitir el movimiento rotatorio.

- **Caja de engranajes o Multiplicadores:** Encargados de cambiar la frecuencia de giro del eje a otra menor o mayor según dependa el caso para entregarle al generador una frecuencia apropiada para que este funcione.
- **Generador:** Es donde el movimiento mecánico del rotor se transforma en energía eléctrica.

Además de estos componentes básicos se requieren otros componentes para el funcionamiento eficiente y correcto del aerogenerador en base a la calidad de servicio de la energía eléctrica, alguno de ellos son:

- **Controlador electrónico:** que permite el control de la correcta orientación de las palas del rotor, también en caso de cualquier contingencia como sobrecalentamiento del aerogenerador lo para.
- **Unidad de refrigeración:** Encargada de mantener al generador a una temperatura prudente.
- **Anemómetro y la Veleta:** Cuya función están dedicadas a calcular la velocidad del viento y la dirección de este respectivamente. Están conectadas al controlador electrónico quien procesa estas señales adecuadamente.

2.5. PRINCIPIO DEL TUBO DE VENTURI

“El *tubo de Venturi* se utiliza para medir la velocidad de un fluido incompresible.

Consiste en un tubo con un estrechamiento, de modo que las secciones antes y después del estrechamiento son A_1 y A_2 , con $A_1 > A_2$. En cada parte del tubo hay un manómetro, de modo que se pueden medir las presiones respectivas p_1 y p_2 . Encuentra una expresión

para la velocidad del fluido en cada parte del tubo en función del área de las secciones, las presiones y su densidad.”

A través de este principio es posible aumentar la velocidad de cualquier tipo de fluido o gas, debido al aumento de presión que se genera en el área # 2 del tubo lo que permitirá una mayor velocidad al momento de salida del fluido. (Laplace, Departamento de Física Aplicada, 2010)

Es importante tener en cuenta el área y la altura de del tubo pues de esto depende el aumento de la magnitud de la velocidad del aire al instante de la salida de este.

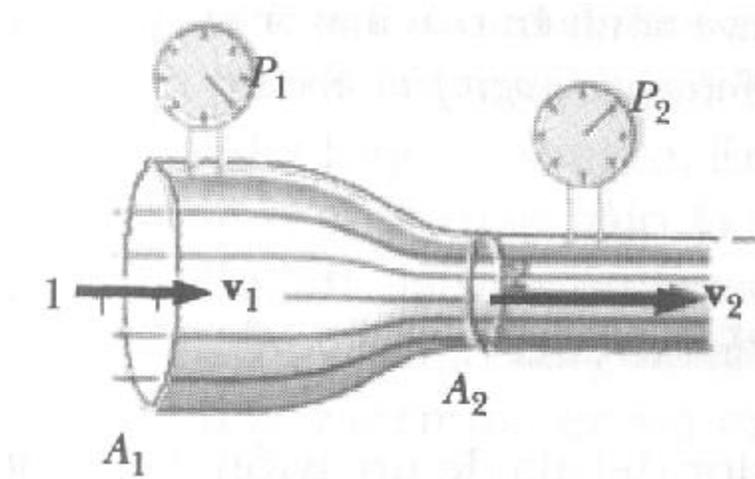


Imagen 4: Fuente tomada de (Física Termodinámica, Efecto Venturi

Cálculo teórico de la velocidad del viento en el prototipo y de la eficiencia alcanzada

El objetivo de este cálculo consiste en demostrar teóricamente la efectividad del efecto Venturi a partir de la ecuación de Bernoulli, para así tener mayor comprensión y garantía del proyecto. A continuación se describen las variables que definen la ecuación:

- P: Es la presión estática a la que está sometido el fluido, debida a las moléculas que lo rodean.
- ρ : Densidad del fluido.
- v: Velocidad de flujo del fluido.
- g: Valor de la aceleración de la gravedad (9.81 m/s, en la superficie de la Tierra).
- h: Altura sobre un nivel de referencia.

A continuación se muestra la **Ecuación de Bernoulli**, con la cual se determina teóricamente como aumenta la velocidad de un fluido a medida que pasa por una superficie que consta de un área transversal mayor al inicio de esta, y una menor al final de dicha superficie, realizando los cálculos con una velocidad inicial (V1) de 2m/s, pues esta es la velocidad promedio de Bogotá, y resultando una velocidad final (V2) de 7.8 m/s. Lo que garantiza de manera teórica que el prototipo permite aumentar velocidades de viento muy bajas.

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$\frac{P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 - P_2 - \rho gh_2}{\frac{1}{2} \rho} = v_2^2$$

$$\frac{754.8 \text{ KPa} + (1.1405 \text{ Kg/m}^3)(9.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(4\text{m}) + \frac{1}{2}(1.1405 \text{ Kg/m}^3)(2\text{m/s})^2 - 799.55 \text{ KPa} - (1.1405 \text{ Kg/m}^3)(9.78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(1\text{m})}{\frac{1}{2}(1.1405 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})} = v_2^2$$

$$\sqrt{\frac{754.8 \text{ KPa} + (1.1405 \text{ Kg/m}^3)(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(4\text{m}) + \frac{1}{2}(1.1405 \text{ Kg/m}^3)(2\text{m/s})^2 - 754.8 \text{ KPa} - (1.1405 \text{ Kg/m}^3)(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(1\text{m})}{\frac{1}{2}(1.1405 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})}} = v_2$$

$$v_2 = 7.8 \text{ m/s}$$

CAPITULO III

MARCO TEORICO – RECURSOS NATURALES

1. RECURSOS NATURALES INAGOTABLES

Se denominan recursos, a aquellos elementos que pueden ser aprovechados por el hombre para satisfacer sus necesidades. Los recursos naturales inagotables pueden ser aprovechados para la generación de electricidad: la energía eólica por ejemplo, está considerada como una de las mejores alternativas para la producción de energía eléctrica, según la física Ana María Cetto, directora adjunta de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA, 2008), para la funcionaria, desde el punto de vista de impacto ambiental, seguridad y costos, la energía eólica es la mejor opción y produce el 16% de la electricidad actual.

2. ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RECURSOS NATURALES INAGOTABLES:

Según Ahumada (2015) Las energías solares y eólicas, que son las más difundidas, tienen ciertas características propias:

- Su intensidad no es constante en el tiempo: no tenemos sol las 24 horas, y también hay días nublados y días soleados. Los sistemas que se abastecen exclusivamente de este tipo de energía deben tener capacidad de almacenarla, lo que es costoso.
- Su intensidad no es constante en el espacio: hay regiones con más horas de sol que otras. Hay regiones más ventosas que otras.
- Su intensidad está dispersa en un área muy grande: el total de energía solar y de energía eólica sobre la tierra es enorme, pero la intensidad de energía por metro cuadrado es relativamente baja, lo que hace costosa su obtención. Sin embargo, en áreas lejanas de los grandes centros de población, pequeñas centrales de generación

de energía basadas en recursos como el sol o el viento pueden disminuir la dependencia de las redes de distribución de electricidad.

3. IMPORTANCIA DE LOS RECURSOS NATURALES INAGOTABLES

Actualmente la mayoría de la energía que utilizamos proviene de combustibles fósiles como petróleo, gas natural y carbón. La generación de este tipo de energía, ya sea para el transporte automotor o para la generación de electricidad, es contaminante porque emite dióxido de carbono a la atmósfera, además, estos recursos son no renovables. (De Juana, Santos, Crespo, 2003).

Como vemos, la configuración energética actual tiene un fuerte impacto ambiental y no es sustentable en el tiempo. Por esto es importante conocer que ciertos tipos de recursos inagotables, principalmente el viento y el sol, son capaces de proveer una alternativa energética sustentable para el futuro.

CAPITULO IV

MARCO TEORICO – FACTORES DE VIENTO

1. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CANTIDAD DE POTENCIA DEL VIENTO

“La energía eólica es aprovechada básicamente por un sistema de un rotor que gira a medida que pasa viento por este. La potencia del viento depende principalmente de 3 factores:

1. **Área por donde pasa el viento (rotor):** es donde la energía cinética del viento se convierte en energía rotativa, está acoplado al eje de baja velocidad del generador.
2. **Densidad del aire:** Es una de las magnitudes de influencia más común en metrología y es calculada tomando en cuenta las condiciones de temperatura, presión y humedad. (CENAM, 2003)
3. **Velocidad del viento:** Es el movimiento del viento que produce energía.

2. COMPORTAMIENTO DE LOS VIENTOS EN SUPERFICIE EN COLOMBIA

Colombia, por encontrarse geográficamente ubicada entre el Trópico de Cáncer (Paralelo del planeta situado al sur del ecuador) y el de Capricornio (Paralelo del planeta situado al sur del ecuador) , está sometida a los vientos alisios y por estar en las proximidades del ecuador, la fuerza de Coriolis (Fuerza que se produce de forma perpendicular a la dirección del movimiento), los vientos están influenciados por las condiciones locales y por el rozamiento proporcionado por las grandes irregularidades que presenta la cordillera de los Andes al ramificarse en tres sistemas, que se extienden longitudinalmente a lo largo del país con diferentes elevaciones. Además, los dos mares que lo bañan también tienen un papel en el comportamiento del viento. Esto y algunas

diferencias de gradientes de presión, hacen que la dirección y la velocidad del viento varíen de un momento a otro y de un sitio a otro. (IDEAM, 2001).

“En general, en el trópico y específicamente en Colombia este factor tiene gran preponderancia en el aporte de humedad, en favorecer los movimientos verticales del viento y en la formación de nubes convectivas, en particular en la tarde, y pueden estar acompañados de vientos violentos de corta duración”. (IDEAM, 2001).

2.1. Bogotá. Aeropuerto el dorado pista 1-2 – departamento de Cundinamarca

Teniendo en cuenta la necesidad de implementar energías alternativas en zonas urbanas donde la velocidad del viento es generalmente baja, se tomó como referencia Bogotá para el análisis estructural (Determinación de datos y diseño experimental) y determinación de funcionamiento del prototipo, es por esto que se estudiará a continuación la velocidad promedio de Bogotá teniendo como base el Aeropuerto el Dorado ya que inicialmente los experimentos de funcionamiento se realizarán en la ciudad de Bogotá, adicional a esto, este es el principal aeropuerto de Colombia).

Según estudios realizados por la UPME se trae a colación la siguiente información; “En general prevalecen vientos débiles en la mayor parte del año. No obstante, vale la pena mencionar algunas épocas para las cuales el viento alcanza valores cercanos a 5 m/s, caso mes de enero y a mitad de año entre julio y agosto entre la 1 y 4 p.m. La dirección predominante de donde sopla el viento es mayormente del noreste. Sin embargo, observando la rosa de vientos, las intensidades más altas se logran cuando el viento sopla mayormente del oeste.” (UPME, 2001)

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, la velocidad en Bogotá se aproxima a los 3 m/s (IDEAM, 2012) hacia las horas de la tarde, lo que quiere decir que los vientos en este sector poseen una velocidad baja pero con posibilidades de utilizar energía eólica.

Como se puede observar, hacia el sur de Bogotá existe una velocidad del viento que oscila entre 3 y 4 m/s (IDEAM, 2012) por tanto, como se explicó al inicio del capítulo, es este sector el que se tomará principalmente ya que el objetivo de este proyecto es lograr el aumento potencial de los vientos a través del principio del Efecto Venturi.????

De acuerdo al comportamiento de los vientos en esta zona, que son constantes durante casi todo el año, exceptuando los meses de Julio y Agosto; se puede deducir que usando el tubo Venturi la velocidad del viento aumentará para poder producir la energía eólica necesitada.

CAPITULO V

ESTADO ACTUAL DEL TEMA

1. ANTECEDENTES Y AVANCES ACTUALES

Para nadie es un secreto que el estado actual del medio ambiente y los recursos naturales se están agotando debido al crecimiento económico del mundo, pues esa interrelación que hay entre la economía y el ambiente aunque es útil y necesaria para el sustento humano y así mismo su desarrollo, afecta notablemente la calidad de vida que lleguemos a poseer a través de los años.

Colombia es uno de los países más ricos en flora y fauna, y aunque debería ser un pro y no un contra, este hecho y el capitalismo desenfrenado de la sociedad y el mundo ha llevado al país a unas altas cifras de deterioro y crisis ambiental, pues los niveles de contaminación que poseen varias ciudades se han convertido en valores que sobrepasan las normas existentes de contaminación atmosférica (Sánchez, Pérez, 2002).

Para ventaja nuestra existe una solución, que además de disminuir el impacto ambiental, es una alternativa para continuar con el desarrollo productivo y crecimiento económico sin seguir contaminando y desmejorando la calidad de vida humana, las Energías Alternativas.

Durante muchos años, la energía de las corrientes de agua ha sido utilizada para generar electricidad con el empleo de molinos y norias (máquinas utilizadas para sacar agua de un pozo, que permite generar la energía suficiente en las hidroeléctricas), las cuales se han utilizado potencialmente en las centrales hidroeléctricas para las que se han construido grandes embalses. En Colombia, gran parte de la energía eléctrica proviene de hidroeléctricas que constituyen el 65% de la energía total del país; como la

represa del Neusa (Bogotá), las de Guadalupe y Rio Grande ubicada en Medellín, la de Anchi Cayá (Cali), y la central hidroeléctrica de caldas, entre otras. (Torres, 2010)

En cuanto a energías alternativas se refiere, en Colombia se han registrado actualmente un proyecto de energía eólica implementado en un parque eólico funcional, ubicado en la guajira en el municipio de Uribía el parque eólico Jepirachi con una capacidad de 19.5 mega vatios. Por otra parte, está apareciendo una nueva empresa interesada en el negocio, las empresas colombianas Jemeiwaa Ka. i S.A.S., quienes dan la información y proponen la aceptación de tres nuevos proyectos para dicha zona en los municipios de Maicao, Uribía, Manaure y Riohacha proyectos encaminados al mercado y venta de carbono o reducción de Dióxido de carbono traducidos en certificados de emisiones reducidas (CER) aprobadas por el Protocolo de Kyoto del 11 de Diciembre de 1997. El Convenio de los derechos de emisión dispuesto en el Art.17 del Protocolo de Kyoto permite que los países que tengan unidades de emisión de sobra, vendan ese exceso de capacidad a países que sobre pasan sus metas y por ende mejoraría y ayudaría tanto con la economía como con el impacto ambiental. (Ahumada, 2015)

En este momento se están haciendo todos los procedimientos para la aceptación de los mismos teniendo en cuenta factores económicos y ambientales que puedan determinar la viabilidad de los proyectos. (Acosta, 2015)

2. APLICACIONES CON TURBINAS EÓLICAS USANDO MECANISMOS PARA ACELERAR EL VIENTO

Actualmente se han generado prototipos de mecanismos para acelerar el viento y generar energía con turbinas eólicas que además usan el efecto Venturi; el primero de ellos es un prototipo de energía eólica registrado en La Patagonia, Argentina donde se ha demostrado que de acuerdo a la velocidad aproximada de los vientos de 60 km/h con la implantación de un tubo de Venturi en un aerogenerador la velocidad aumenta a los 450 km/h gracias al principio del físico italiano Giovanni Battista Venturi.

“El invento es “una tobera con forma de cuña, cuyo techo desciende desde la toma hacia la desembocadura para provocar el efecto Venturi”. “La boca -continúa- es un rectángulo de 50 metros de altura por 100 de frente. El tubo mide 82 metros de largo y termina en una desembocadura de 50 metros de ancho y 12,50 de alto. En el túnel el viento incrementa su velocidad varias veces antes de impactar sobre el molino, integrado por los ocho alaves cóncavos de un rotor centrífugo” (El periodismo de las energías limpias, 2011). Como se puede observar este invento realizado por Jorge Alberto Díaz ha permitido la maximización de los vientos y de esta manera generar una mayor eficiencia en la aplicación de los aerogeneradores.

Una conclusión importante que se arrojó en los datos es el tipo de material, según Díaz (2013) el acero proporciono un excelente rendimiento, lo que facilita un poco la elaboración del prototipo pues es un material nacional en Argentina. Señaló como ventajas también la velocidad de los vientos proporcionada por el sur de dicho país, La Patagonia. (Revista eólica y del vehículo eléctrico, 2013)

Otro destacado proyecto que utiliza el efecto Venturi es el prototipo ENERGY BALL V100 V200, que consiste en un prototipo en el cual los extremos de las palas se encuentran instaladas en el eje del rotor, es decir cuando la esfera comienza a girar las

palas del rotor crean una forma esférica, este es el principio de su funcionamiento. Esto hace que todo el viento que sopla a través del rotor, a lo largo del eje, crea un flujo de viento, donde el aire primero llega a un punto determinado y luego se acelera.

Este modelo funciona a partir de una velocidad del viento de 7m/s y es capaz de producir la electricidad de un hogar promedio y es recomendable la instalación del mismo en campos abiertos que permitan aumentar la producción de velocidad. (Energías Inteligentes, 2014). Este tipo de prototipo varía sus tamaños teniendo rotores desde diámetros de 110cm hasta 198 cm, es decir que este tipo de aerogenerador está diseñado bien sea para ubicarlo en una casa o un edificio pues produce alrededor de 1.750 kW/h al año y para funcionar necesita una velocidad aproximada del viento de 7m/s. Finalmente, una gran ventaja de este Energy ball es su turbina, pues esta se caracteriza por ser silenciosa y por tanto no afecta al medio ambiente.

Continuando con aerogeneradores que funcionan en entornos urbanos se hace referencia a Producto Holandés “DonQi” el cual opera combinando energía eólica, energía solar y bombas de calor. “El aerogenerador urbano donqui ha sido específicamente diseñado para funcionar óptimamente en entornos urbanos, donde el viento es más bajo y turbulento que en las zonas abiertas y rurales. El rendimiento es maximizado ya que, gracias a sus características, se produce una aceleración del viento en todos los regímenes de viento, haciendo posible generar electricidad desde vientos de fuerza 2 Bft (Escala de Beaufort es una medida empírica para la intensidad del viento, equivale a 2,364565 m/s)” (Wind Energy. 2009). Anexo a esto, este aerogenerador lleva incorporado dentro de sí un silenciador que permite que este prototipo no genere ruidos altos. Los materiales y composiciones de dicho aerogenerador le permiten por tanto

tener una vida útil aproximadamente entre 15 y 20 años lo que implica la disminución de gastos en las energías eléctricas actuales.

Continuando con los proyectos anteriores, se encuentra también un aerogenerador que produce un 600% más de energía, este generador eólico es creado por la empresa norteamericana SheerWind y su nombre es INVELOX. “El novedoso diseño utiliza embudos para capturar el viento y dirigirlo hasta una turbina situada en el suelo. El viento entra por un embudo y según se va estrechando éste aumenta su velocidad hasta el punto en que es turbinado.” Se han realizado pruebas en las que se demuestra que un viento de 16 Km por hora llega a la turbina con una velocidad de 64 Km por hora.

(ALLPE Medio ambiente.org, 2013)



Imagen 5: Fuente tomada de (ALLPE, 2013)

Según el Blog del Medio Ambiente ALLPE, el sistema puede producir energía con velocidades del viento desde 1,6 kilómetros por hora, lo que significa que el sistema es

muy efectivo y es posible y viable implantarlo en ciudades donde la velocidad de los vientos es baja.

En la actualidad también encontramos propuestas para el aprovechamiento del recurso eólico en las ciudades ya que el viento urbano es uno de los factores climáticos de más difícil previsión, puesto que sus variaciones son poco predecibles y además de esto, las edificaciones y construcciones existentes en el medio ambiente urbano dificultan aún más el aprovechamiento óptimo del viento.

Para el mayor aprovechamiento de los vientos en las ciudades se plantean proyectos para crear edificaciones que por medio de su construcción puedan canalizar el viento y aportar un mayor aprovechamiento de los vientos en las zonas urbanas. Como ejemplo encontramos el Edificio Bahrein World Trade Center, que hace parte de la arquitectura moderna ya que este posee una morfología aerodinámica lo que permiten direccionar y acelerar los vientos para el aprovechamiento de los mismos; dentro de esta edificación se encuentran ubicados aerogeneradores basados en la ingeniería aeroespacial e inspirados en ingeniería mecánica mostrados en imágenes de proyectos con configuraciones volumétricas. (Aprovechamiento del recurso eólico en las ciudades ,2010)



Imagen 6: Edificio Bahrein World Trade Center (Flickr gareth dewar, 2011)

CAPITULO VI
METODOLOGIA

1. METODOLOGIA

El plan de trabajo diseñado se realizó a través de informes investigativos, bases de datos y libros acerca de energía eólica, que permitieran cumplir a cabalidad con las condiciones establecidas por las energías utilizadas teniendo en cuenta la necesidad de dar a conocer otros métodos de producir energía eléctrica que no afecten de gran manera al medio ambiente.

El plan metodológico se desarrolló teniendo en cuenta todas las investigaciones ya realizadas a nivel mundial acerca del incremento de la velocidad del viento a través de la implementación del tubo Venturi.

Esta investigación es cuantitativa y experimental ya que se va demostrar la funcionabilidad del prototipo mediante la iluminación que se generará en un edificio hecho a escala, que contiene un metro de cinta Led's, a través de la construcción del prototipo que mejorará la eficiencia energética, de donde saldrá la energía inicialmente cinética convertida ya en energía mecánica y será almacenada en una batería. Para desarrollar este proyecto fue necesario diseñar y adaptar la tecnología: Uso de materiales adecuados y la tecnología apropiada, luego realizar la construcción del prototipo, hacer pruebas de desempeño y verificación de las condiciones del prototipo y por último, evaluar y realizar las modificaciones finales del diseño.

CAPITULO VII

CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO

1. DISEÑO DEL PROTOTIPO

El diseño del prototipo consiste en la fabricación a escala de una tobera que utilice el efecto Venturi con el objetivo de aumentar la eficiencia energética y comprobar su funcionamiento, de tal manera que esto permita determinar el aumento de la velocidad del viento generado por el prototipo.

Antes de llegar a la construcción final del prototipo, se realizaron varias pruebas con el fin de determinar cuál sería el mejor diseño que permitiría una mayor eficiencia y aprovechamiento del viento, por lo tanto se dan a conocer los distintos planos que hicieron parte del diseño final, teniendo el ultimo plano como el determinado y escogido para los resultados de este proyecto de investigación. Es importante aclarar que dichas medidas pueden variar de acuerdo al lugar y espacio donde se requiera su implementación, pues de acuerdo a varias leyes de la física y la termodinámica, entre mayores sean las dimensiones mayor cantidad de viento ingresará en el prototipo de eficiencia energética.

En la figura 1 se muestra el prototipo que se realizó inicialmente, a continuación se muestran las medidas y el diseño del mismo.

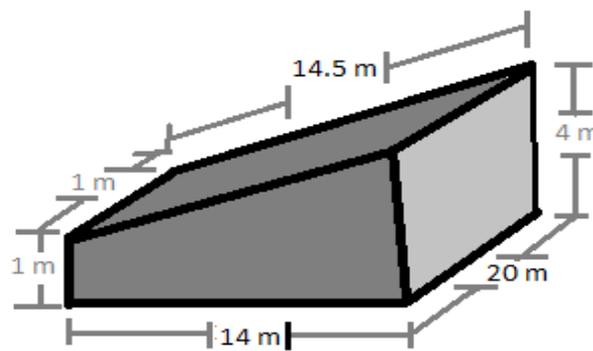


Figura 7: Fuente propia

Debido a experimentos en el diseño y resultados fallidos, se construyó un segundo prototipo que permitiría el aprovechamiento eficiente y óptimo del viento. A continuación se muestra el diseño definitivo con las medidas reales.

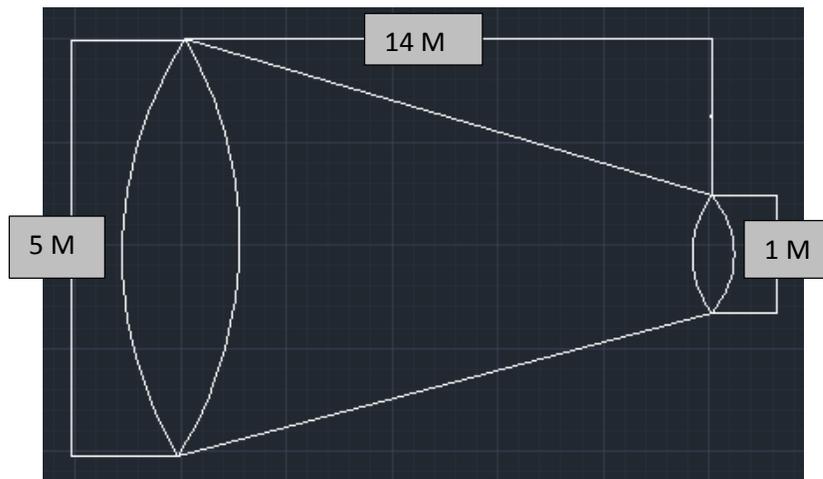


Figura 8: Fuente propia

Finalmente, se explica que las medidas del prototipo se determinaron con base en el Generador eólico Magnus Venturi, ubicado en la Patagonia (LA ARENA, 2013).

2. MEDICIONES DEL VIENTO EN EL PROTOTIPO

Durante el rediseño se realizó toma de tiempos y velocidades bajo dos condiciones distintas con el fin de comparar el incremento del viento en cada uno de los lugares y determinar cuál sería el más provechoso para el desarrollo del proyecto.

Condiciones reales (flujo de viento inestable) y condiciones controladas (velocidad constante modificar velocidad de viento)

2.1. Medición en el edificio UNIMINUTO

Este experimento consiste en realizar mediciones de velocidad y tiempo en condiciones reales, es decir, lugares donde el flujo del viento es inestable. Se tomó como referencia el edificio de la Uniminuto debido a que este posee nueve pisos, siendo el último piso el que mayor viento obtiene, pues se encuentra más alejado de las construcciones urbanas, a partir de esto es posible llevar a cabo el proceso de manera más efectiva. De acuerdo a la información anterior se muestran los siguientes resultados:

- Sección transversal mayor = 0,9 m/s – 1,6 m/s t = 15 s
- Sección transversal menor = 1,5 m/s – 2,6 m/s t = 15 s

Cuando se hace referencia a la **Sección transversal mayor** se aclara que ésta, es el área de mayor diámetro en la tobera donde pasa el viento inicial, por el contrario, la **sección transversal menor** corresponde al área de menor diámetro por donde pasa el viento final. Este primer procedimiento permite identificar el funcionamiento del efecto Venturi, al demostrar experimentalmente el aumento de la velocidad en la sección transversal menor con respecto de la mayor. El gráfico 1 explica más detalladamente los resultados obtenidos.

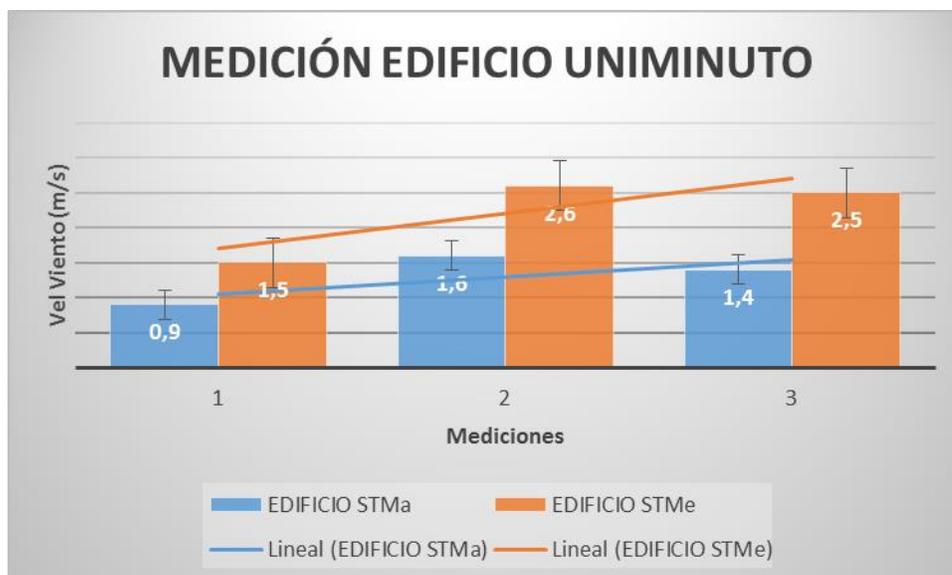


Grafico 1: Fuente Propia

En este primer grafico se muestra que de acuerdo al primer experimento realizado se obtuvo un **porcentaje de incremento velocidad del viento del 75%**, aclarando que este porcentaje de incremento corresponde a los calculos realizados en los experimentos con tobera y sin tobera, identificando en el gráfico la linea azul con los datos correspondientes al experimento sin tobera y la linea naranja con los datos correspondientes al experimento con tobera. Despues de estos calculos se demuestra a través de formulas estadisticas que el incremento de la velocidad utilizando la tobera es del 75%.

2.2. Medición con un mini ventilador

Este experimento consiste en realizar mediciones de velocidad y tiempo en condiciones controladas, es decir, lugares donde el flujo del viento es constante pero se puede modificar la velocidad del viento. El procedimiento se realizó en un salón de la universidad utilizando un ventilador ubicado en la misma dirección durante 15 segundos, identificando los datos resultantes con y sin la tobera.

Lo anterior con el fin de analizar que tan variables pueden llegar a ser los datos finales a condiciones controladas respecto de las condiciones reales y determinar que de las dos formas el prototipo es viable. A partir de dicha información se obtienen los siguientes resultados:

- Sección transversal mayor = 1,0 m/s – 1,3 m/s $t = 15$ s
- Sección transversal menor = 1,8 m/s – 2,0 m/s $t = 15$ s

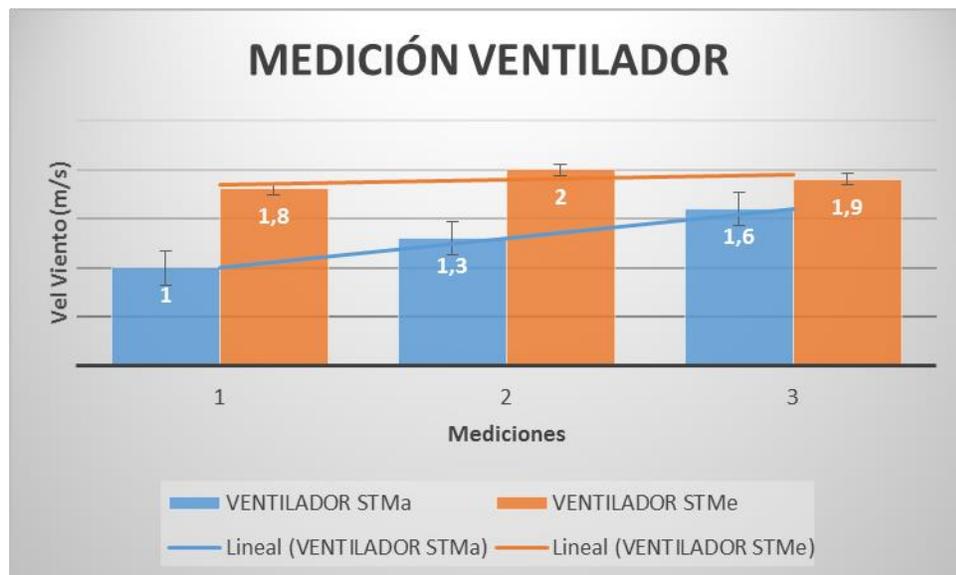


Grafico 2: Fuente Propia

En el segundo grafico se muestra que de acuerdo al segundo experimento realizado se obtuvo un **porcentaje de incremento velocidad del viento del 60%**.

3. CALCULO DE POTENCIA DEL PROTOTIPO

El método más práctico y confiable para medir la eficiencia energética de un aerogenerador es el cálculo de la potencia del mismo, esto se debe a la caracterización de la curva de un aerogenerador, la cual utiliza las variables de velocidad y potencia relacionándolas directamente con la eficiencia y viabilidad, en este caso, del prototipo. Teniendo en cuenta el texto anterior se realizaron dos experimentos que consistieron en la toma de datos con tobera y sin tobera, midiendo las variables de Corriente (I) y Voltaje (V) con respecto a un intervalo de velocidades, lo que da como resultado la potencia en los distintos ensayos.

Como primer punto se muestra una tabla desarrollada a partir de siete pruebas dentro del experimento 1, el cual involucra el prototipo completo, es decir el aerogenerador ubicado al interior de la tobera, es importante mencionar que estos datos fueron validados teniendo en cuenta la desviación estandar, la cual determina la variabilidad de los datos y de la misma manera su veracidad.

CON TOBERA									
No EXPERIMENTOS	VELOCIDAD	VOLTAJE (V)	PROMEDIO VOLTAJE	CORRIENTE (mA)	PROMEDIO CORRIENTE (mA)	PROMEDIO CORRIENTE (Amp)	POTENCIA (W)	DESMACION VOLTAJE	DESMACION CORRIENTE
1	3 - 3,4 m/s	1,6	1,588	32,9	33,96	0,340	0,54	0,01	0,96
		1,6		35,5					
		1,58		33,6					
		1,57		34					
		1,59		33,8					
2	3,5 - 4 m/s	2,7	2,73	39,3	40,4	0,404	1,10	0,04	0,91
		2,73		40,5					
		2,72		40,4					
		2,71		41,8					
		2,8		40					
3	4,1 - 4,5 m/s	3,9	3,95	56,4	55,76	0,558	2,20	0,04	0,99
		3,92		56,6					
		3,95		55,8					
		3,98		54,1					
		4		55,9					
4	4,6 - 5 m/s	4,1	4,69	66,8	67,04	0,670	3,15	0,33	0,78
		4,86		66,6					
		4,9		66,3					
		4,8		67,2					
		4,8		68,3					
5	5,1 - 5,5 m/s	5,3	5,40	80,4	79,58	0,796	4,30	0,21	0,53
		5,1		79,3					
		5,4		79,1					
		5,6		79,8					
		5,6		79,3					
6	5,6 - 5,8 m/s	6,9	6,78	98,8	99,24	0,992	6,73	0,19	0,76
		6,7		99,3					
		6,5		100,1					
		7		99,8					
		6,8		98,2					
7	6 m/s	7	7,15	113,6	114,16	1,142	8,16	0,12	0,93
		7,1		113					
		7,2		114					
		7,1		115					
		7,33		115,2					

Tabla 1: Fuente propia

Como segunda instancia se encuentra una tabla con las mismas indicaciones del experimento anterior, pero en este ensayo no se hizo uso de la tobera, es decir se

realizaron mediciones únicamente en el aerogenerador. Esto dio como resultado el siguiente cuadro:

SIN TOBERA									
No EXPERIMENTOS	VELOCIDAD	VOLTAJE (V)	PROMEDIO VOLTAJE	CORRIENTE (mA)	PROMEDIO CORRIENTE (Amp)	PROMEDIO CORRIENTE (Amp)	POTENCIA (W)	DESVIACION VOLTAJE	DESVIACION CORRIENTE
1	3 - 3,4 m/s	0,71	0,52	6,87	6,53	0,065	0,034	0,27	0,43
		0,43		6					
		0,28		6,9					
		0,9		6,12					
		0,3		6,75					
2	3,5 - 4 m/s	1,08	1,38	12,87	12,10	0,121	0,167	0,27	0,63
		1,12		11,66					
		1,57		11,7					
		1,69		12,7					
		1,43		11,58					
3	4,1 - 4,5 m/s	1,56	1,38	42,65	41,70	0,417	0,576	0,22	0,81
		1,14		41,3					
		1,34		40,55					
		1,21		42,17					
		1,66		41,81					
4	4,6 - 5 m/s	2,75	2,61	63,7	63,08	0,631	1,645	0,12	0,63
		2,72		62,21					
		2,55		63,36					
		2,48		62,64					
		2,54		63,49					
5	5,1 - 5,5 m/s	2,94	2,82	82,31	82,76	0,828	2,337	0,01	1,04
		2,57		81,3					
		2,68		82,65					
		2,98		83,77					
		2,95		83,76					
6	5,6 - 5,8 m/s	3,95	3,95	88,58	89,15	0,892	3,525	0,01	0,62
		3,96		89,82					
		3,96		88,6					
		3,95		89,81					
		3,95		88,96					
7	6 m/s	4,91	4,24	53,78	53,44	0,534	2,267	0,38	0,60
		4		53,8					
		4,1		52,5					
		4,2		53,18					
		4		53,92					

Tabla 2: Fuente propia

Después de los cálculos realizados de velocidad, voltaje y corriente, se obtuvo dos cuadros indicando la velocidad y potencia generada en los ensayos con y sin tobera, lo que permite identificar el gráfico de la curva de potencia del prototipo y de la misma manera determinar su eficiencia.

Se hace relevante aclarar que la ecuación que determina la potencia es:

$P=V*I$ en donde

- P= potencia
- V=Voltaje
- I= Corriente

CON TOBERA	
VELOCIDAD	POTENCIA (W)
3 - 3,4 m/s	0,54
3,5 - 4 m/s	1,10
4,1 - 4,5 m/s	2,20
4,6 - 5 m/s	3,15
5,1 - 5,5 m/s	4,30
5,6 - 5,8 m/s	6,73
6 m/s	8,16

Tabla 3: Fuente propia

SIN TOBERA	
VELOCIDAD	POTENCIA (W)
3 - 3,4 m/s	0,034
3,5 - 4 m/s	0,167
4,1 - 4,5 m/s	0,576
4,6 - 5 m/s	1,645
5,1 - 5,5 m/s	2,337
5,6 - 5,8 m/s	3,525
6 m/s	2,267

Tabla 4: Fuente propia

CON TOBERA		
PUNTO MEDIO DEL INTERVALO: VELOCIDAD (m/s)	DESMACION ESTANDAR VOLTAJE	DESMACION ESTANDAR CORRIENTE
3,2	0,01	0,96
3,7	0,04	0,91
4,3	0,04	0,99
4,8	0,33	0,78
5,3	0,21	0,53
5,7	0,19	0,76
6	0,12	0,93

Tabla 5: Fuente propia

SIN TOBERA		
PUNTO MEDIO DEL INTERVALO: VELOCIDAD (m/s)	DESMACION ESTANDAR VOLTAJE	DESMACION ESTANDAR CORRIENTE
3,2	0,27	0,43
3,7	0,27	0,63
4,3	0,22	0,81
4,8	0,12	0,63
5,3	0,01	1,04
5,7	0,01	0,62
6	0,38	0,60

Tabla 6: Fuente propia

Para el cálculo de estos datos se tomó una muestra experimental que determinó la cantidad de veces que se debían realizar los experimentos, iniciando con una velocidad de 3 m/s debido a que esa es la velocidad de arranque del prototipo y terminando con 6 m/s porque es en esta velocidad en la que la potencia se mantiene constante. La potencia de eficiencia energética del aerogenerador se representa en una gráfica lineal en la que después de determinado valor, se vuelve constante.

Para garantizar la eficiencia de funcionamiento del prototipo se relaciona la curva de un aerogenerador normal con la curva del prototipo. Sabiendo que la curva de potencia de un aerogenerador es un gráfico que indica cuál será la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades del viento, se puede deducir que una máquina será más eficiente en cuanto mayor sea la pendiente y más a la izquierda se encuentre la línea de ascenso de la gráfica, ya que producirá más potencia a velocidades de viento mínimas, y en cuanto más estable sea la línea de producción (Línea horizontal) constante. (UCLM, 2011)

A partir de esta información se muestra el grafico de potencia del viento del prototipo que mejorará la eficiencia energética en zonas urbanas donde la velocidad de los vientos es demasiado baja.

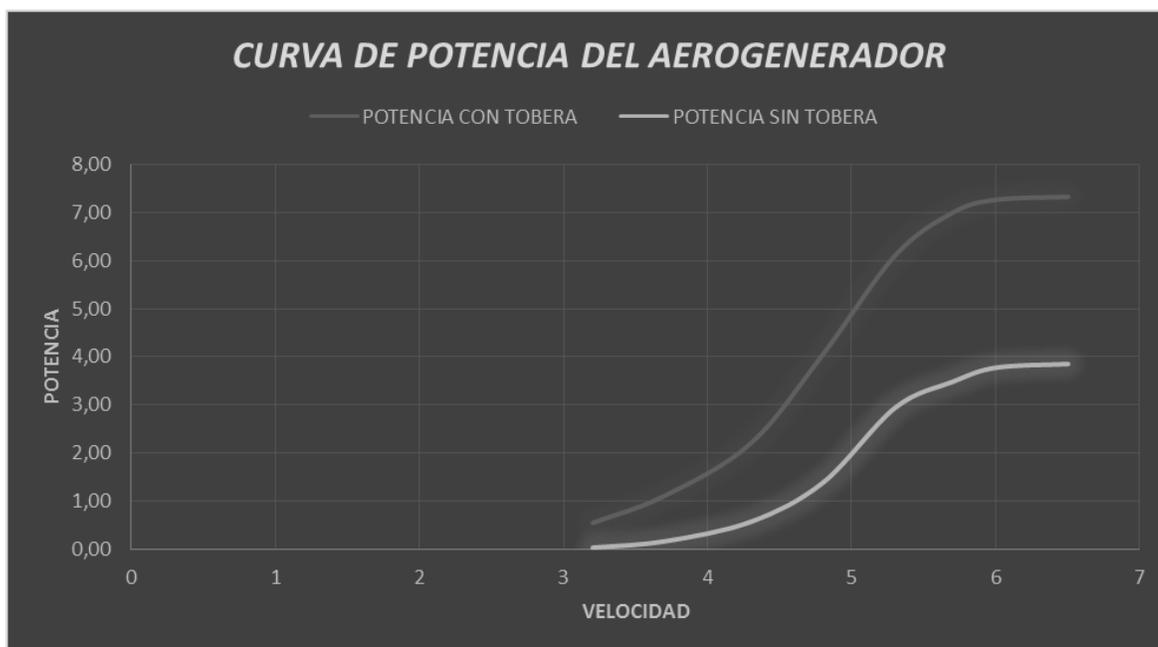


Grafico 3: Fuente Propia

ANALISIS DE LOS DATOS

Como se observa en el grafico 3, la potencia del aerogenerador usando la tobera es mayor comparado con el resultado de la potencia del aerogenerador sin la tobera, a partir de esta información se determina que el porcentaje de incremento en la potencia del prototipo representado en la eficiencia energética (potencia) es del **103%**. Esto demuestra que efectivamente el prototipo aumenta tanto la velocidad del aerogenerador como la eficiencia energética del mismo. Se indica también, que al existir mayor velocidad de viento, el voltaje generado por el aerogenerador será mayor y por lo tanto la potencia aumentará.

Los experimentos realizados en el diseño del prototipo determinaron que éste, permite aumentar la velocidad del viento de la sección transversal menor (Área de entrada) al doble de dicha velocidad en la sección transversal mayor (Área de salida).

Adicional a lo anterior, se realizaron pruebas para determinar que el prototipo no solo generará energía para la iluminación de un edificio a escala, sino que también la almacenará en una batería de 10,6V para mantener estable el funcionamiento del edificio. En el Gráfico 3 se observa que la energía comienza a acumularse a partir de 1,95V, permaneciendo estable después de 7V. Esto demuestra experimentalmente, que el prototipo almacena energía suficiente para la iluminación del edificio.

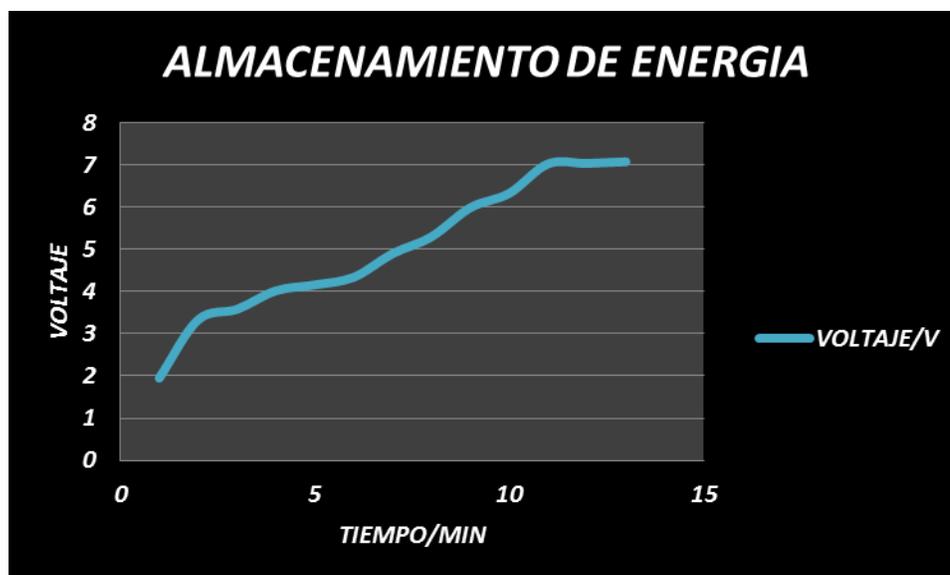


Gráfico 4: Almacenamiento de energía. Fuente propia.

Para llegar al gráfico 4, fue necesario realizar una serie de experimentos que consistieron en establecer una velocidad promedio del viento de 3,25 m/s para determinar cuánto tiempo, a condiciones controladas, se demoraría la batería en cargarse. Para este procedimiento, se escogió un día en el cual se dejó el prototipo

funcionando con velocidad constante originada de un ventilador, comenzando a las 9:55 a.m y partiendo con un voltaje de 1,95V, a partir de esa primera medición se realizaron otra serie de mediciones iniciando con intervalos de 15 minutos y finalizando con intervalos entre 70 y 80 minutos, pues al realizar estos experimentos se pudo observar que la energía almacenada durante determinados minutos aumentaba secuencialmente.

Después de trece mediciones y siendo las 6:50 de la tarde, se llegó a un voltaje de 7,08V, basada en este hecho se realizó la conexión al metro de cinta Led's con la cual se comenzaron las pruebas, con el fin de confirmar que efectivamente en el transcurso de aproximadamente 9 horas las baterías quedan cargadas y listas para generar energía.

A continuación se muestra la tabla de datos del almacenamiento de energía en las baterías:

PUNTO MEDIO DEL INTERVALO: VELOCIDAD (m/s)	TIEMPO/MIN	VOLTAJE/V
3,25	15	1,95
3,25	15	3,33
3,25	50	3,58
3,25	50	4,02
3,25	80	4,16
3,25	65	4,34
3,25	60	4,9
3,25	80	5,3
3,25	50	5,99
3,25	70	6,33
3,25	70	7,03
3,25	60	7,04
3,25	50	7,08

Tabla 7: Datos de almacenamiento. Fuente propia.

Para concluir esta sección, se afirma que de acuerdo a cada uno de los experimentos realizados a lo largo del proyecto, la eficiencia energética del aerogenerador al hacer uso del efecto venturi aumenta, por lo tanto se define que el proyecto de investigación cumplió a cabalidad con sus objetivos, determinando y analizando los datos resultantes que son pertinentes para la finalización de esta investigación.

Es importante mencionar, que fue necesario diseñar varios aerogeneradores, pues al iniciar el proyecto, el aerogenerador construido no generaba ni el voltaje ni el amperaje suficiente para iluminar el edificio a escala que se planteo durante el objeto de la investigación, debido a esto, se contruyó un aerogenerador que incluyera un amplificador de voltaje y amperaje, lo que consiste en el uso de resistores y condensadores, para así demostrar el resultado esperado de este proyecto.

3. PRODUCTO FINAL A ENTREGAR

El producto final de la investigación consta de una tobera que utiliza el efecto venturi, tal como se muestra en la Figura 1.

Este ultimo prototipo tiene incorporado un amplificador de voltaje y corriente con el fin de aumentar la diferencia de potencial que el aerogenerador esta generando unicamente con el motor. A continuacion se da a conocer imágenes del prototipo real y los elementos de lo componen.

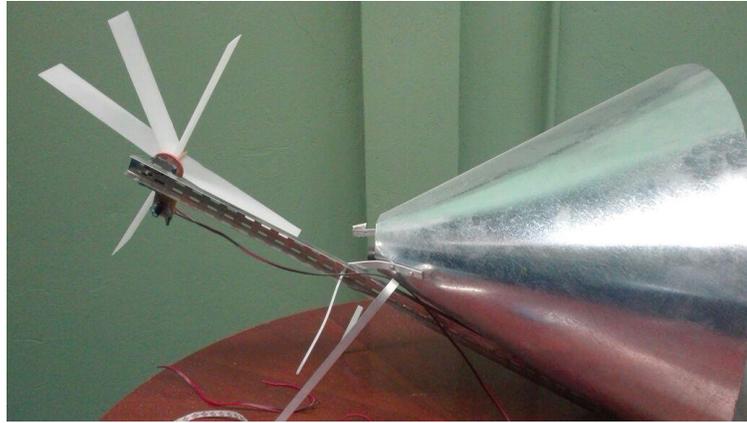


Figura 9: Prototipo real. Fuente propia

Como se observa en la Figura 4, el prototipo consiste en una tobera que utiliza el efecto venturi, en la cual en la sección transversal menor se encuentra el aerogenerador, éste, consta de un motor de paso que aumenta el voltaje generado por el viento, y un amplificador de voltaje y corriente, que contiene condensadores y resistencias en su conexión para permitir el aumento de las variables anteriormente mencionadas.

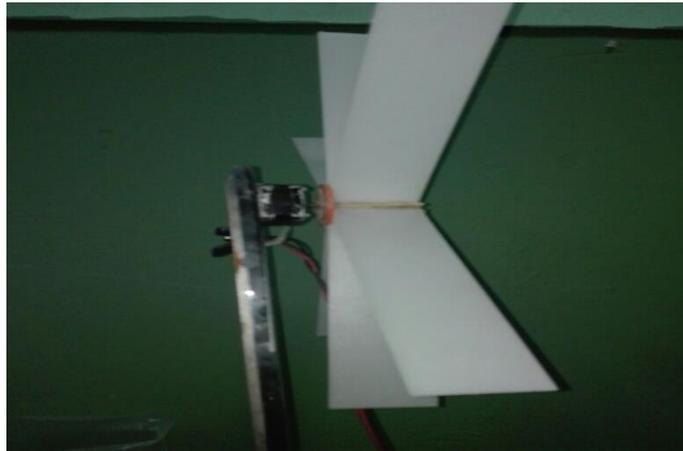


Figura 10: Aerogenerador adaptado a la tobera. Fuente propia.

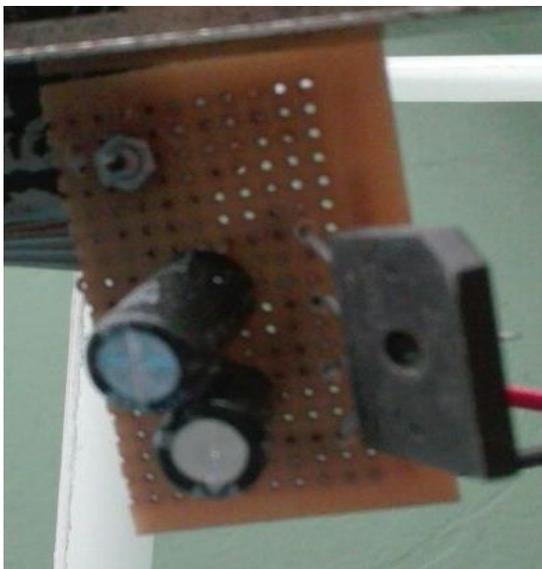


Figura 11: Amplificador de voltaje y corriente. Fuente propia.



Figura 12: Baterías recargables. Fuente propia

Actualmente este prototipo de aerogenerador esta alimentando una bateria de 9,6V recargable, lo que permite encender un metro de cinta led's. Las baterías que se

muestran en la figura 7, están conectadas entre sí por puentes eléctricos, lo que permite que el voltaje de cada una de ellas sea mayor al estar unidas.

CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFIA

1. CONCLUSIONES

- En la ejecución de las pruebas se comprobó que utilizando el efecto Venturi se aceleraron los vientos generando energía eólica a través del prototipo de energía renovable generando un porcentaje de incremento en la potencia del aerogenerador representado en la eficiencia energética (potencia) del **52%**.
- No todos los aerogeneradores son funcionales a mínimas velocidades, por lo que se hace pertinente el diseño de tecnologías que permitan acelerar la velocidad del viento en donde las condiciones climáticas no favorecen la implementación de las tecnologías convencionales.
- La inclusión de un prototipo eólico en el sector industrial, mejora la eficiencia eléctrica y permite reducir el impacto ambiental y social causado por las grandes hidroeléctricas.

BIBLIOGRAFIA

- Allaei, Tarnowski, & Andreopoulos. (2015). INVELOX with multiple wind turbine generator systems. *Energy*, 931030-1040. doi:10.1016/j.energy.2015.09.076
- Aprovechamiento del recurso eólico en las ciudades (2010). Edificios que canalizan los vientos. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Leonardo_Agurto/publication/259707560_Aprovechamiento_del_Recurso_Elico_en_las_Ciudades/links/0f31752d6ba3e6015a000000.pdf
- Chong, Poh, Fazlizan, Yip, Chang & Hew. (2013). Early development of an energy recovery wind turbine generator for exhaust air system. *Applied Energy*, 112568-575. doi:10.1016/j.apenergy.2013.01.042
- [De Santoli](#), [Angelo](#), [Garcia](#), [Bruschi](#) & [Cumoa](#). (2014). A preliminary energy and environmental assessment of a micro wind turbine prototype in natural protected areas. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*.8, 42-56, p. [doi:10.1016/j.seta.2014.07.002](https://doi.org/10.1016/j.seta.2014.07.002)
- [Hernández](#), [Volkov](#), [Mederos](#), [Medina](#) & Feijóo. (2015). Power output of a wind turbine installed in an already existing viaduct. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*.48, 287-299, p. doi: 10.1016 / j.rser.2015.03.097
- Energías Renovables y Limpias (2012) Aerogenerador de eje horizontal frente a aerogenerador de eje vertical. Características principales y ventajas de uno y otro. Recuperado de: <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com.co/2012/07/aerogenerador-de-eje-horizontal-o-vertical.html>
- Becerra, Guardado (2001). CENTRO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Estimación de la incertidumbre en la determinación de la densidad del aire. pag.2
- NCYT Amazings. (2010). Análisis del ciclo de vida y amortización energética de las turbinas eólicas. Recuperado de: <http://www.ensostenible.com/analisis-de-ciclo-de-vida-aeogeneradores/>
- López. (2010). Universidad ICESI. Caso Hidroelectrica “El Quimbo”. Recuperado de: <https://www.icesi.edu.co/blogs/casohidroelectricaelquimbo/>.
- Ernesto Torres.(2010). Energías renovables 2010 informe sobre la situación mundial 2010. Pag. 3
- Jose Ma de Juana, Florentino Santos, Antonio Crespo, Miguel Angel Herrero, Adolfo de Franciso, Jesus Hernandez. (2003). Energías renovables para el desarrollo. Pags. 13-20. 151-156.

