



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN  
GESTIÓN EMPRESARIAL.

TEMA:

**Diseño y construcción de un aerogenerador de eje vertical para un  
sistema de iluminación de emergencia con luces LED**

AUTORES:

Jonathan Xavier Ching Valle  
Angel Gerardo Figueroa Briones

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de  
**INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN  
EMPRESARIAL**

TUTOR:

Hidalgo Aguilar, Jaime

Guayaquil, Ecuador

01 de Marzo del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN  
EN GESTIÓN EMPRESARIAL.

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por los  
Sres. **Jonathan Xavier Ching Valle y Angel Gerardo Figueroa Briones**  
como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO  
ELECTROMECAÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL**

TUTOR

---

Hidalgo Aguilar, Jaime

DIRECTOR DE CARRERA

---

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, al día 1 del mes de marzo del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN  
EN GESTIÓN EMPRESARIAL

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Jonathan Xavier Ching Valle y Angel Gerardo Figueroa  
Briones**

**DECLARAMOS QUE:**

El trabajo de titulación "**Diseño y construcción de un aerogenerador de eje vertical para un sistema de iluminación de emergencia con luces LED**" previo a la obtención del Título de **INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, al día 1 del mes de marzo del año 2017

LOS AUTORES



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN  
EN GESTIÓN EMPRESARIAL

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Jonathan Xavier Ching Valle; Angel Gerardo Figueroa Briones**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Diseño y construcción de un aerogenerador de eje vertical para un sistema de iluminación de emergencia con luces LED**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, al día 1 del mes de marzo del año 2017

LOS AUTORES

---

JONATHAN XAVIER CHING VALLE  
ANGEL GERARDO FIGUEROA BRIONES

# REPORTE DE URKUND

**URKUND**

<b>Documento</b>	<a href="#">TRABAJO TITULACION DE CHING Y FIGUEROA.docx</a> (D25826434)
<b>Presentado</b>	2017-02-17 08:07 (-05:00)
<b>Presentado por</b>	rafael.hidalgo@cnel.gob.ec
<b>Recibido</b>	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
<b>Mensaje</b>	Fwd: Tesis Ching y Figueroa <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 2% de esta aprox. 25 páginas de documentos

Lista de fuentes	Bloques
<input type="checkbox"/>	<a href="#">Reyes Cristhian FINAL.docx</a> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<a href="#">TT RFID Cristian Jativa.docx</a> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<a href="#">TESIS.docx</a> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<a href="#">SALAZAR, MARCOS.doc</a> <input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	<a href="#">1416356233 Monografia E. E..docx</a> <input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<a href="#">TESIS TUMA URCO 3.docx</a> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<a href="#">http://147.83.158.184/esaiiki/in...</a> <input type="checkbox"/>

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

TEMA:  
Diseño y construcción de un aerogenerador de eje vertical para un sistema de iluminación de emergencia con luces LED

AUTORES: Jonathan Xavier Ching Valle Angel  
Gerardo Figueroa Briones

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO ELECTROMECÁNICO CON MENSIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL

TUTOR: Hidalgo Aguilar, Jaime

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencia

## **AGRADECIMIENTO**

Es de nuestro acuerdo agradecer en primera estancia a Dios por llenarnos de bendiciones en el transcurso de la realización de este proyecto de tesis ya que nos sucedieron muchas cosas favorables las cuales nos permitieron culminar con éxito esta labor. También nuestro total agradecimiento con nuestras familias, ya que significan un apoyo fundamental tanto en lo emocional como en lo intelectual y son la base de nuestra formación como personas de bien y de provecho.

Por otra parte queremos expresar nuestros sinceros agradecimientos a la gran familia que representa la Facultad Técnica para el Desarrollo, junto a sus maestros los cuales nos supieron otorgar los conocimientos necesarios en nuestra formación profesional, en especial a nuestro director de tesis Ingeniero Rafael Hidalgo, quien realizó una excelente labor en la guía y organización de nuestras ideas y conocimientos en la tesis; también al personal administrativo los cuales nos brindaron la atención oportuna y de calidad en todo momento que lo necesitamos.

Cabe destacar también un fraterno agradecimiento a nuestros compañeros de carrera y de facultad que estuvieron dispuestos a prestar su ayuda en inquietudes surgidas en el desarrollo de la tesis, así como también al personal de apoyo en el montaje de todo el sistema que representa la implementación de la tesis.

LOS AUTORES

JONATHAN XAVIER CHING VALLE  
ANGEL GERARDO FIGUEROA BRIONES

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de tesis va dedicado a nuestros padres, los cuales han otorgado su sacrificio por brindarnos una educación de calidad así como también excelentes valores morales para hacer de nosotros hombres de bien y valorar los sacrificios realizados.

## **LOS AUTORES**

**JONATHAN XAVIER CHING VALLE**  
**ANGEL GERARDO FIGUEROA BRIONES**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**HIDALGO AGUILAR, JAIME RAFAEL**  
PROFESOR

f. \_\_\_\_\_  
**HERAS SANCHEZ, MIGUEL ARMANDO**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
**PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO**  
COORDINADOR DE TITULACIÓN

## Índice General

Índice de Figuras .....	xiii
Índice de Tablas .....	xv
Resumen.....	xvi
Abstract .....	xviii
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>2</b>
1.1. Introducción. ....	2
1.2. Antecedentes.....	4
1.3. Justificación del Problema. ....	5
1.4. Definición del Problema.....	6
1.5. Objetivos del Problema de Investigación. ....	7
1.5.1. Objetivo General.....	7
1.5.2. Objetivos Específicos.....	8
1.6. Hipótesis.....	8
1.7. Metodología de Investigación. ....	9
<b>CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>10</b>
2.1. Energías renovables. ....	10
2.1.1. Tipos de energías renovables.....	10
2.2. El Viento.....	11
2.2.1. Origen del viento. ....	11
2.3. Velocidad del viento.....	13
2.4. Variación de la Velocidad del viento con respecto a la altura sobre el terreno.....	13
2.5. Variación de la Velocidad del viento con el tiempo. ....	14
2.6. Medición de la velocidad del viento.....	14
2.6.1 Usos de anemómetros. ....	16
2.7. Calculo de la potencia del viento. ....	17
2.8. Curva de la potencia del viento.....	18
2.9. Energía Eólica.....	19
2.10. Aerogeneradores.....	19
2.10.1. Funcionamiento de un Aerogenerador. ....	20

2.10.2. Tipos de Aerogeneradores.....	21
2.10.2.1 Aerogenerador de eje horizontal. ....	21
2.10.2.2 Aerogenerador de eje Vertical VAWT.....	23
2.11. Turbina de eje vertical Darrieus. ....	25
2.11.1 Concepto aerodinámico de Darrieus.....	27
2.12. Turbina de eje vertical Savonius.....	30
<b>CAPÍTULO 3: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR HELICOIDAL DE EJE VERTICAL.....</b>	<b>32</b>
3.1. Descripción de la implementación a realizar.....	32
3.2. Condiciones Ambientales.....	32
3.3. Estudio realizado al lugar destinado a la implementación.....	33
3.4. Requerimientos generales para el diseño del aerogenerador .....	38
3.5. Diseño estructural del Aerogenerador.....	39
3.5.1. Diseño y elaboración del eje.....	39
3.5.2. Diseño y elaboración de los segmentos.....	40
3.5.3. Diseño de las aspas del aerogenerador.....	41
3.5.4. Diseño y elaboración de la base del aerogenerador.....	41
3.6. Diseño de la estructura de estabilización de la turbina del aerogenerador.....	43
3.7. Diseño y elaboración del sistema de transmisión del aerogenerador. .	44
3.7.1. Selección de las chumaceras.....	45
3.7.2. Diseño y elaboración del piñón.....	46
3.7.3. Selección de la cadena.....	47
3.7.4. Diseño y elaboración de la base del motor.....	47
3.8. Diseño del sistema eléctrico para el sistema de iluminación de emergencia. ....	48
3.8.1 Descripción de la implementación a realizar.....	48
3.8.2 Diagrama eléctrico a conectar.....	49
3.8.3 Selección del Inversor.....	49
3.8.4 Selección de los contactores.....	50
3.8.5 Selección de los LEDs COB.....	51

3.8.6	Diseño de los disipadores de calor.....	52
3.9.	Selección del motor-generator.....	52
3.10.	Selección del controlador de carga.....	54
3.11.	Selección de la Batería.....	55
<b>CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>57</b>
4.1.	Conclusiones.....	57
4.2.	Recomendaciones.....	58
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2

FIGURA 2. 1: COMPORTAMIENTO DEL VIENTO EN EL PLANETA. ....	12
FIGURA 2. 2: DIAGRAMA COMPARATIVO DE LAS VELOCIDADES DEL VIENTO CON RESPECTO A LA ALTURA DEL TERRENO. ....	13
FIGURA 2. 3: ANEMÓMETRO DE HILO. ....	16
FIGURA 2. 4: ANEMÓMETRO DE COPA.....	16
FIGURA 2. 5: CURVA DE POTENCIA VS VIENTO.....	18
FIGURA 2. 6: AERODINÁMICA DE LOS ALABES DEFINIENDO ÁNGULO DE ATAQUE. ....	20
FIGURA 2. 7: PARTES DE UN AEROGENERADOR HAWT. ....	22
FIGURA 2. 8: TURBINA EÓLICA DE EJE VERTICAL DE 15 M DE ALTO. ....	24
FIGURA 2. 9: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE VAWT DARRIEUS.....	26
FIGURA 2. 10: MUESTRA CÓMO FUNCIONA UN VAWT DAERREIUS. ....	27
FIGURA 2. 11: DARRIEUS VAWT CON EL GENERADOR EN LA BASE Y DE 2 ASPAS. ....	30
FIGURA 2. 12: VISTAS DE UN VAWT SAVONIUS. ....	31
FIGURA 2. 13: USO DE VAWT EN ZONAS URBANAS DESTINADAS A ILUMINAR CARTELES PUBLICITARIOS.....	31

### Capítulo 3

FIGURA 3. 1: GRAFICO EN BASE A LOS PUNTOS TOMADOS EN LA TABLA 3.1 .....	34
FIGURA 3. 2: GRAFICO EN BASE A LOS PUNTOS TOMADOS EN LA TABLA 3.2. ....	35
FIGURA 3. 3: GRAFICO ELABORADO EN BASE A LOS DATOS TOMADOS DE LA TABLA 3.3..	36
FIGURA 3. 4: GRAFICO QUE MUESTRA LOS PUNTOS DE VELOCIDADES MÁS ALTOS EN BASE A LOS 3 DÍAS.....	36
FIGURA 3. 5: GRAFICA ELABORADA CON LOS PUNTOS TOMADOS DURANTE LA NOCHE....	38
FIGURA 3.6: LUGAR DONDE SE REALIZARA LA INSTALACIÓN DEL AEROGENERADOR. ....	39
FIGURA 3. 7: VISTA DEL SEGMENTO "S" DESDE LA PARTE SUPERIOR. ....	40

FIGURA 3. 8: VISTA ISOMÉTRICA DEL SEGMENTO “S” .....	40
FIGURA 3. 9: VISTA ISOMÉTRICA DE LAS HÉLICES DE LA TURBINA. ....	41
FIGURA 3. 10: VISTA SUPERIOR DE LA BASE .....	42
FIGURA 3. 11: VISTA LATERAL DE LA BASE.....	42
FIGURA 3. 12: VISTA ISOMÉTRICA DE LA BASE DEL AEROGENERADOR. ....	42
FIGURA 3. 13: VISTA SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA DE ESTABILIZACIÓN. ....	43
FIGURA 3. 14: VISTA ISOMÉTRICA DE LA ESTRUCTURA DE ESTABILIZACIÓN. ....	44
FIGURA 3. 15: CHUMACERAS DE 1 ½” DE PARED DESTINADAS PARA LA PARTE INFERIOR DEL EJE.....	45
FIGURA 3. 16: CHUMACERA DE TECHO DE 1 ½” DESTINADA A LA ESTRUCTURA ESTABILIZADORA.....	45
FIGURA 3. 17: VISTA SUPERIOR DEL PIÑÓN Y SUS RESPECTIVAS COTAS. ....	46
FIGURA 3. 18: VISTA ISOMÉTRICA DEL PIÑÓN DISEÑADO PARA EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	46
FIGURA 3. 19: CADENA SELECCIONADA PARA EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	47
FIGURA 3. 20: VISTA ISOMÉTRICA DE LA PLACA BASE DEL MOTOR. ....	47
FIGURA 3. 21: VISTA SUPERIOR DE LA PLACA BASE DEL MOTOR. ....	48
FIGURA 3. 22: DIAGRAMA DE LA AUTOMATIZACIÓN REALZADA. ....	49
FIGURA 3. 23: INVERSOR DE 500W INSTALADO. ....	50
FIGURA 3. 24: CONTACTORES DE LA MARCA SASSIN DE 12 A. ....	51
FIGURA 3. 25: LED COB DE 10W DESTINADO A INSTALARSE. ....	51
FIGURA 3. 26: SECCIONES DE CALENTAMIENTO DE LOS LEDS COB .....	51
FIGURA 3. 27: DISIPADOR DE CALOR DISEÑADO PARA EL COB LED.....	52
FIGURA 3. 28: ESQUEMA DEL MOTOR AMP-FLOW P40-500.....	53
FIGURA 3. 29: CURVA DE RENDIMIENTO DEL MOTOR AMP-FLOW P40-500. ....	54
FIGURA 3. 30: CONTROLADOR DE CARGA DE 10A QUE SE INSTALÓ. ....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 2

TABLA 2. 1: POTENCIA DEL VIENTO CALCULADA EN DIFERENTES PUNTOS. ....	17
--	----

### Capítulo 3

TABLA 3. 1: MEDICIONES REALIZADAS EL 17 DE NOVIEMBRE DEL 2016.....	33
TABLA 3. 2: MEDICIONES REALIZADAS EL 18 DE NOVIEMBRE DEL 2016.....	34
TABLA 3. 3: MEDICIONES REALIZADAS EL 21 DE NOVIEMBRE DEL 2016 .....	35
TABLA 3. 4: MEDICIONES REALIZADAS EL 21 DE NOVIEMBRE DEL 2016 .....	37
TABLA 3. 5: DATOS TÉCNICOS DE LOS CONTACTORES.....	50
TABLA 3. 6: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BATERÍA BOSH NS40.....	56

## Resumen

Con el reciente aumento de los precios de los combustibles fósiles, las demandas de fuentes de energía limpia, las turbinas eólicas se han convertido en una tecnología viable para la generación de energía.

El objetivo principal de esta tesis es diseñar y construir un aerogenerador de eje vertical el cual cargará un banco de baterías, y este a su vez alimentará un sistema de alumbrado LED COB de emergencia en la Facultad Técnica para el Desarrollo.

Como primera parte se llevó a cabo el diseño mecánico del aerogenerador de eje vertical de tipo helicoidal con rotor tipo SAVONIUS, considerando todos los esfuerzos a los cuales va a estar expuesta dicha estructura por parte del viento y otros fenómenos naturales, mediante toma de lecturas experimentales. Posterior a este proceso, se desarrolló el diseño del sistema eléctrico, el cual suministrara la energía necesaria para el sistema de alumbrado LED COB.

Para obtener el mayor provecho y una alta eficiencia en el funcionamiento del aerogenerador, se diseñó un sistema de control para la automatización del mismo, considerando todos los factores que pueden afectar la puesta en marcha del suministro de energía a las luminarias.

Finalmente se muestran los resultados obtenidos con el trabajo del aerogenerador, en el momento de la suspensión de la energía eléctrica, el sistema automatizado entra en marcha de tal manera que un contactor permite el funcionamiento de la fotocélula que detecta en qué periodo del día se encuentra, es decir, si es de noche, el segundo contactor permite el paso de la energía eléctrica de la batería a los LEDs, caso contrario, si es aun de día, los LEDs no se encenderán.

## **Abstract**

With the recent rise in fossil fuels prices, the demand for clean energy sources, especially wind turbines have become a viable technology for power generation.

The main objective of this thesis is to design and construction of a vertical axis wind turbine which will charge a bank of batteries which will turn on a LED COB emergency lighting system in the Technical Faculty for Development.

As a first part, the mechanical design of the vertical axis wind turbine with SAVONIUS type rotor was carried out, considering all the efforts that this structure will be subjected by the wind and other natural phenomena, by taking experimental notes. After this process, the design of the electrical system was developed, which will supply the necessary energy for the COB LED lighting system.

Then we explain how the generation of electric energy occurs through the production of mechanical energy with the rotation of the wind turbine, highlighting the operation of the elements and equipment involved in the process.

In order to obtain the greatest benefit and a high efficiency in the operation of the wind turbine, a control system was designed for the

automation of the turbine process, considering all the factors that can affect the start of the power supply to the luminaires.

Finally the results obtained with the work of the wind turbine are shown, at the moment of the suspension of the electric energy, the automated system starts up in such a way that a contactor allows the operation of the photocell that detects in which period of the day it is found, if it is night, the second contactor allows the passage of the electric energy of the battery to the luminaires, otherwise, if it is still day, the luminaires will not light.

## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Introducción.**

Dado al aumento de la población en forma exponencial y que nuestros recursos naturales están siendo consumidos por el aumento de la demanda, es importante invertir en energía renovable. Nuestro consumo de combustibles fósiles como energía se ha convertido una causa principal en ediciones ambientales. El subproducto del consumo de combustibles fósiles es el dióxido de carbono, que ha sido nombrado como un componente principal que conduce al calentamiento global. La cantidad de dióxido de carbono que alguien o algo produce es conocida como su "huella de carbono". Los medios de comunicación se han centrado en este tema y muchos movimientos verdes han comenzado a tratar de reducir nuestra "huella de carbono".

Hay sólo unos pocos tipos de energía que no producen dióxido de carbono. Se trata de la energía nuclear y las fuentes de energía renovables como la energía eólica, solar e hidroeléctrica.

Las fuentes de energía renovables son las más limpias de estas fuentes, porque no hay residuos formados como subproductos de éstas fuentes. La energía nuclear produce desechos nucleares que podrían tardar hasta 100 años en no ser limitados hasta que puedan ser minados adecuadamente. Las turbinas eólicas se han utilizado en todo el mundo para generar electricidad

de parques eólicos off shore a aerogeneradores residenciales de menor escala. (Comisión de Energía de California, 2012)

Las turbinas se clasifican según el montaje del eje del generador, por lo que existen dos tipos principales de aerogeneradores, los de eje vertical (VAWT) y los de eje horizontal (HAWT). La turbina eólica de eje horizontal fue inventada antes de la turbina de viento de eje vertical, lo que dio lugar a su popularidad y amplio uso.

Actualmente, las turbinas eólicas de eje horizontal (HAWT) dominan el mercado de energía eólica debido a su gran tamaño y altas características de generación de energía. Sin embargo, las turbinas de viento de eje vertical (VAWT) son capaces de producir mucha energía y ofrecen muchas ventajas. El equipo de generación de energía mecánica se puede ubicar a nivel del suelo, lo que facilita el mantenimiento. Además, los VAWT son omnidireccionales, lo que significa que no necesitan ser señalados en la dirección del viento para producir energía. Por otra parte, hay mayor generación de energía si el VAWT aumenta su tamaño en gran medida. Sin embargo, también hay desventajas con el uso de este tipo de aerogenerador; en primer lugar, las fuerzas axiales del viento que golpean sobre las aspas no serán constantes en toda la superficie, lo que en algunos casos conduce a una fuerza cortante y a un momento flector. En segundo lugar, el VAWT no se inicia por sí mismo; en aerogeneradores de gran tamaño, se requiere una

fuente de potencia externa para iniciar la rotación de la turbina hasta que se alcance una cierta velocidad de rotación.

## **1.2. Antecedentes.**

Las máquinas eólicas han sido utilizadas por los seres humanos durante miles de años. Hasta el siglo 20 la energía eólica se utilizó para proporcionar energía mecánica para bombear el agua o para moler el grano. Los molinos de viento registrados en tiempos más antiguos son los molinos de eje vertical y se utilizaron en Afganistán en el siglo VII aC. Estos molinos tenían una baja eficiencia y para que funcionaran correctamente, la parte que giraba en dirección opuesta con respecto al viento tenía que ser protegida por una pared.

Los molinos de viento de eje horizontal se encuentran en documentos históricos de Persia, el Tíbet y China alrededor de 1000 dC. Desde Persia y Oriente Medio, el molino de viento de eje horizontal se extendió por toda Europa en el siglo XII, donde el rendimiento del molino de viento fue mejorado constantemente; En el siglo XIX una parte considerable de la energía utilizada en la industria en Europa se basaba en la energía eólica. La industrialización condujo entonces a una disminución gradual de los molinos de viento, ya que el uso de la energía eólica fluctuante fue sustituido por motores de combustibles fósiles que proporcionaban una fuente de energía más consistente. (Ackermann et al, 2000).

En la década de 1970, con el primer choque del precio del petróleo, comenzó la era moderna de los generadores de turbinas eólicas, centrándose en producir electricidad en lugar de energía mecánica. Métodos convencionales para generar electricidad queman combustible para proporcionar la energía para conducir un generador, creando contaminación, lluvia ácida y contribuyendo al calentamiento global. En los últimos años ha habido un creciente interés en los sistemas de energía eólica debido a los beneficios ambientales y los beneficios económicos del ahorro de combustible (Fujita et al, 2006).

El viento es una fuente limpia y nunca se agotará. La tecnología de energía eólica se está desarrollando rápidamente. Las turbinas se están volviendo más baratas y más potentes, reduciendo el coste de la electricidad generada de forma renovable (British Wind Energy Association, 2006). El costo de generar electricidad a partir del viento ha caído casi un 90% desde los años 80 (Karrari et al, 2005). Hoy en día, la energía eólica es uno de los recursos energéticos sostenibles más importantes y se ha convertido en una alternativa aceptable para la energía eléctrica.

### **1.3. Justificación del Problema.**

Este proyecto de tesis tiene la finalidad de implementar un recurso adecuado para la generación de energía eléctrica limpia sin el uso de fuentes contaminantes, así como también suscitar medios de generación de menor

costo de producción y distribución, fortaleciendo de esta manera un menor impacto ambiental a la naturaleza. También cuenta con aportes investigativos y técnicos para que sean usados en proyectos similares que necesiten de información que se genere en la implementación del aerogenerador. Cabe destacar que recientemente se está haciendo uso de energía renovable para generación de energía eléctrica en nuestro país, como es el caso de las hidroeléctricas, pero el uso de generadores eólicos es muy escaso. Por tal motivo proponemos este método de generación eólica utilizando el recurso inagotable y disponible que es el viento.

El proyecto está planteado tomando en cuenta los cambios climáticos que sufre el planeta y por ende el país. En la actualidad se habla mucho sobre el calentamiento global que se produce por la mala utilización de los recursos orgánicos e inorgánicos, situación que afecta directamente al caudal de los ríos y por ende a la obtención de generación hidráulica ocasionando una menor potencia en centrales eléctricas produciéndose la disminución de energía eléctrica. En tal virtud se está planteando este nuevo método de generación para satisfacer la necesidad de consumo eléctrico en lugares donde se dificulta llegar con el tendido de redes eléctricas y que cuentan con la presencia de grandes flujos de vientos.

#### **1.4. Definición del Problema.**

La tesis contará con un análisis detallado sobre la disponibilidad de aire en el sector para diseñar un sistema adecuado de generación eólica, tomando

en consideración sus variaciones, causas, efectos y factores esenciales que permitan determinar la orientación óptima del aerogenerador. Del mismo modo se analizará las normas de implementación de los distintos elementos que conforman el generador eólico, lo que involucra requerimientos, disposiciones y criterios para certificar que el proyecto sea factible, garantizando la seguridad de las personas que circularan cerca de las instalaciones y del mismo modo la calidad del servicio.

La Facultad Técnica para el Desarrollo de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil debe mantener de manera indispensable una fuente de generación de energía eléctrica para situaciones de emergencia donde es común la suspensión de energía eléctrica ya sea de manera automática o forzada. Tomando en consideración la situación geográfica donde se encuentra ubicada la facultad, se propone la instalación de un aerogenerador de eje vertical, el cual aprovechara los fuertes flujos de viento para generar energía eléctrica la cual será almacenada en un banco de baterías para alimentar un sistemas de luces LED de uso emergente, el cual marcará la ruta de evacuación segura para el estudiantado y público general.

## **1.5. Objetivos del Problema de Investigación.**

### **1.5.1. Objetivo General.**

Implementar un sistema alternativo de energía renovable, con la finalidad de generar electricidad mediante el uso del recurso natural como lo es el viento, para alimentar un banco de baterías con la finalidad

de proporcionar energía eléctrica a un sistema de iluminación LED de emergencia.

### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- Analizar el flujo de aire que recorre el sector donde estará ubicado el aerogenerador
- Determinar la carga y calcular la potencia requerida para el sistema eléctrico instalado en los pasillos de la facultad para la iluminación de emergencia.
- Especificar las características técnicas necesarias para la adquisición de los elementos que van a conformar el aerogenerador.
- Analizar el beneficio del uso de este medio de generación de energía en cuanto a costo, amigabilidad con el medio ambiente y facilidad de instalación y manipulación

### **1.6. Hipótesis.**

Se diseñara un aerogenerador helicoidal de eje vertical, de 2 metros de altura por 1.20 metros de ancho, el cual girara a bajas revoluciones para transmitir la energía cinética, por medio de un mecanismo de cadenas, a un motor de escobillas AMPFLOW de 0.67 hp, lo que se prevé generará aproximadamente 500 W en condiciones climáticas optimas, para alimentar un banco de baterías, el cual suministrará energía eléctrica a un sistema de alumbrado de emergencia, el mismo que consta de 24 focos LED de 10 W cada uno, equivalente a un foco incandescente de 70 W.

## **1.7. Metodología de Investigación.**

Se tiene que destacar que un factor importante en este tipo de proyectos es el uso de la investigación como un proceso que procura tener información fidedigna para entender, verificar, corregir y aplicar los conocimientos adquiridos.

En esta tesis en particular aplicaremos tres tipos de investigación, la primera es la investigación documental que se basa en apoyo de documentos de carácter bibliográfico como libros, ensayos, papers, revistas técnicas, etcétera.

El segundo tipo de investigación utilizada es la investigación experimental que trata de obtener la información de una actividad intencional realizada por los creadores de esta tesis con la finalidad de modificar una realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga.

Y finalmente el tercer tipo de investigación utilizada es la investigación aplicada que es la utilización de los conocimientos adquiridos en la práctica para aplicarlos en beneficio de la sociedad.

## **CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.1. Energías renovables.**

La energía renovable se define generalmente como la energía que se recolecta de los recursos que se reponen naturalmente en una escala de tiempo humana, tal como luz del sol, viento, lluvia, mareas, ondas, y calor geotérmico. La energía renovable a menudo proporciona energía en cuatro áreas importantes: generación de electricidad, calefacción y refrigeración de aire y agua, transporte y servicios de energía rural (fuera de la red).

#### **2.1.1. Tipos de energías renovables.**

El ecosistema de nuestro país es rico en recursos naturales de los cuales se podría sacar provecho para hacer uso de energías renovables para el desarrollo tecnológico del Ecuador. Entre las más destacadas tenemos: Hidroeléctricas, Solar, Biomasa, Biogás, Eólica, Geotérmica y Mareomotriz. Para esta tesis en particular analizaremos la energía eólica proveniente del viento.

Todas las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica), e incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del sol. El sol irradia 174.423.000.000.000 [kWh] de energía por hora hacia la Tierra. En otras palabras, la Tierra recibe  $1,74 \times 10^{17}$  [W] de potencia. Alrededor de 1% a 2% de la energía

proveniente del sol es convertida en energía eólica. Esto supone una energía alrededor de 50 a 100 veces superior a la convertida en biomasa por todas las plantas de la tierra. Las regiones alrededor del ecuador, a 0° de latitud, son calentadas por el sol más que las zonas del resto del globo.

## **2.2. El Viento.**

El viento es el aire en movimiento y es causado por las diferencias en la presión del aire dentro de nuestra atmósfera. El aire a alta presión se mueve hacia áreas de baja presión. Cuanto mayor sea la diferencia de presión, más rápido fluirá el aire.

Una de las propósitos fundamentales de este proyecto de tesis, es sacar el mayor provecho de las características físicas que cuenta este fenómeno, que muchas veces pasa desapercibida, con la finalidad de diseñar y construir un aerogenerador de eje vertical eficiente. Además se realizara un estudio de las características del viento en la región costa.

### **2.2.1. Origen del viento.**

De acuerdo a la variación de la altura. Debido a la forma ovalada de la Tierra produce que la radiación solar sea absorbida de manera diferente en los polos que en el Ecuador, por lo tanto la energía que recibe en el Ecuador es mucho mayor, esto provoca variaciones de

temperatura que conducen al cambio en la densidad de las masas de aire por lo que se desplaza en diferentes regiones. Este movimiento se realiza desde zonas de alta presión a otras de baja presión atmosférica. Ocasionando de esta manera un equilibrio térmico en zonas de temperaturas extremas, de no ser por esto se considerarían inhabitables.

Por otra parte se producen otros flujos se afectan de manera perpendicular al movimiento de las masas del aire, en el hemisferio norte a la derecha y el sur hacia la izquierda. Estos sentidos de desplazamiento se ven afectados principalmente por las tormentas que desvían la dirección absoluta y también por las limitaciones naturales como bosques, desfiladeros, fosas, hoyos. Por lo tanto el viento está caracterizado por dos importantes variables: la dirección y la velocidad.

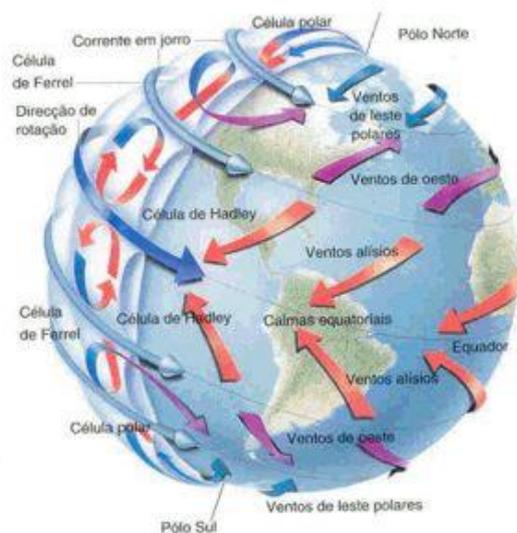


Figura 2. 1: Comportamiento del viento en el planeta.  
Fuente: (Fondear, 2012)

### 2.3. Velocidad del viento.

La velocidad del viento es una variable importantes para el diseño del aerogenerador ya que esta no es constantes sino que varía dependiendo de las condiciones climáticas y de la geografía del terreno, por lo que es importante realizar mediciones para definir la mejor ubicación donde ira instalado el aerogenerador.

### 2.4. Variación de la Velocidad del viento con respecto a la altura sobre el terreno.

El comportamiento de la velocidad del viento donde se realiza los ensayos de la toma de datos del mismo varía con respecto a la altura sobre el terreno en el cual se mueven flujos de aire. El estudio de este factor dependerá principalmente de la irregularidad del terreno, ya que se genera una fuerza de fricción que retarda el flujo del viento. Esta fuerza de fricción disminuye a medidas que se incrementa la altura del terreno. La siguiente figura describe las velocidades del viento con respecto a las características topográficas del terreno.

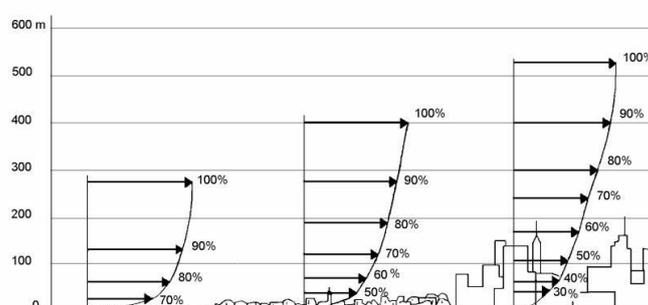


Figura 2. 2: Diagrama comparativo de las velocidades del viento con respecto a la altura del terreno.  
Fuente: (Kuang, 2008)

## **2.5. Variación de la Velocidad del viento con el tiempo.**

El Ecuador cuenta con dos estaciones en el año lo cual influirá de forma directa y predominante en la variación de la velocidad del viento. En invierno se registran velocidades bajas con lo cual será menos eficiente el sistema del aerogenerador comparado con las velocidades que se registran en verano ya que estas son mucho más altas. Por lo tanto en verano habrá una producción de energía mayor y lineal.

## **2.6. Medición de la velocidad del viento.**

Un anemómetro es un instrumento que mide la velocidad del viento y la presión del mismo. El tipo más común de anemómetro tiene tres o cuatro tazas unidas a los brazos horizontales. Los brazos están unidos a una varilla vertical. A medida que el viento sopla, las tazas giran, haciendo girar la varilla. Cuanto más fuerte es el viento, más rápido gira la barra. El anemómetro cuenta el número de rotaciones, o vueltas, que se utiliza para calcular la velocidad del viento. Debido a que las velocidades del viento no son consistentes-hay ráfagas y pausas-la velocidad del viento suele promediarse en un corto período de tiempo.

Un tipo similar de anemómetro cuenta las revoluciones hechas por las palas del molino de viento. La barra de los anemómetros del molino de viento gira horizontalmente.

Otros anemómetros calculan la velocidad del viento de diferentes maneras. Un anemómetro de alambre caliente aprovecha el hecho de que el aire enfría un objeto caliente cuando fluye sobre él. En un anemómetro de alambre caliente, un alambre delgado calentado eléctricamente se coloca en el viento. La cantidad de energía necesaria para mantener el cable caliente se utiliza para calcular la velocidad del viento. Cuanto mayor sea la velocidad del viento, mayor será la potencia necesaria para mantener el cable a una temperatura constante.

La velocidad del viento también se puede determinar midiendo la presión del aire. (La presión de aire se mide por medio de un instrumento llamado barómetro.) Un anemómetro de tubo utiliza presión de aire para determinar la presión del viento, o velocidad. Un anemómetro de tubo mide la presión de aire dentro de un tubo de vidrio que está cerrado en un extremo. Comparando la presión de aire dentro del tubo con la presión de aire fuera del tubo, se puede calcular la velocidad del viento.

Otros anemómetros trabajan midiendo la velocidad de las ondas acústicas o brillando rayos láser en partículas minúsculas en el viento y midiendo su efecto.

### 2.6.1 Usos de anemómetros.

Los anemómetros se usan en casi todas las estaciones meteorológicas, desde el Ártico helado hasta las regiones cálidas ecuatoriales. La velocidad del viento ayuda a indicar un cambio en los patrones climáticos, como una tormenta inminente, que es importante para los pilotos, los ingenieros y los climatólogos.

Los ingenieros aeroespaciales y los físicos a menudo utilizan anemómetros láser. Este tipo de anemómetro se utiliza en experimentos de velocidad. La velocidad es la medida de la velocidad y la dirección del cambio en la posición de un objeto. Anemómetros láser calcular la velocidad del viento alrededor de coches, aviones y naves espaciales, por ejemplo. Los anemómetros ayudan a los ingenieros a hacer estos vehículos más aerodinámicos.



Figura 2. 3: Anemómetro de hilo.  
Fuente: (Kimo, 2015)

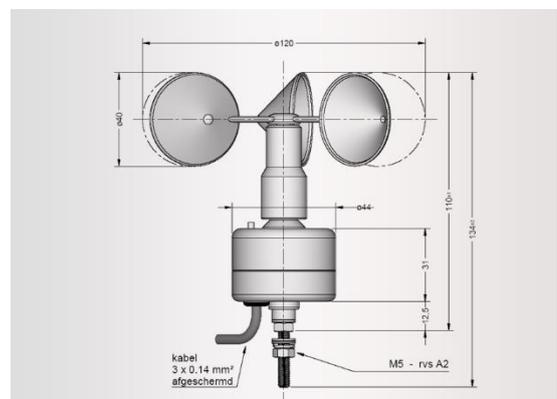


Figura 2. 4: Anemómetro de copa.  
Fuente: (Sensovant, 2016)

## 2.7. Calculo de la potencia del viento.

La potencia que el viento genera sobre una superficie A perpendicular a la velocidad V es:

$$P_{Viento} = \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ (W: watos)}$$

Donde:

$P_{Viento}$ : Potencia del viento (W).

$\rho$ : Densidad del aire (1.2 Kg/m<sup>3</sup>).

V: Velocidad del aire (m/s).

A: área perpendicular al viento (m<sup>2</sup>).

En la formula descrita se observa que la potencia eólica se ve afectada por la densidad del aire y la velocidad del viento.

Generalmente la potencia eólica se la expresa como potencia eólica específica, es decir por unidad de área:

$$P_{Viento} = \frac{1}{2} \rho V^3 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Tabla 2. 1: Potencia del viento calculada en diferentes puntos.

Velocidad del viento (m/s)	Potencia eólica (W/m <sup>3</sup> )
2	5
3	16
4	38
5	75
6	130
7	206

8	307
9	437
10	600
11	800
12	1040

Elaborado por: Autores

## 2.8. Curva de la potencia del viento.

El grafico de la curva de la potencia de un aerogenerador nos indica cual es la potencia eléctrica disponible a diferentes velocidades del viento

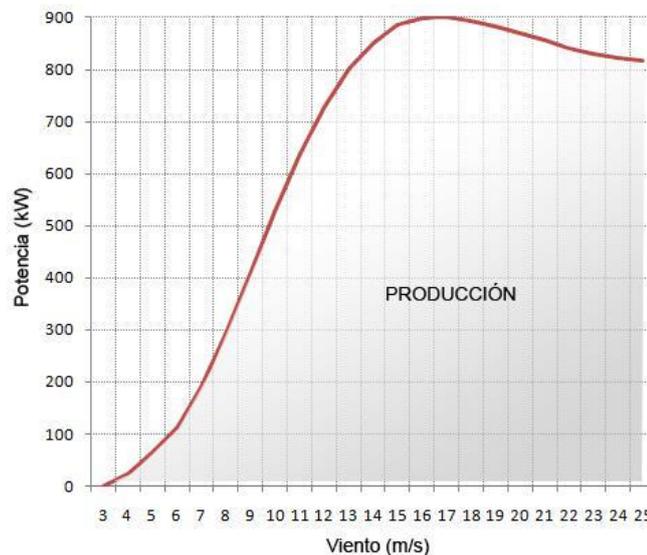


Figura 2. 5: Curva de Potencia vs Viento.  
Fuente: (Jenkins & Walker, 2008)

Esta curva se obtiene de datos tomados experimentalmente en campo, donde se utiliza una herramienta de medición de la velocidad del viento llamado anemómetro, las lecturas deben ser tomadas a una distancia prudente del aerogenerador ya que este distorsiona el espacio en el que el flujo de aire da la lectura al anemómetro.

## **2.9. Energía Eólica.**

La energía eólica es la conversión de la energía proveniente del viento en una forma más útil de energía. La energía eólica se produce utilizando generadores eólicos (turbinas eólicas) para aprovechar la energía cinética del viento. Esta forma de energía está ganando popularidad mundial como una fuente de energía viril porque representa una fuente inagotable de energía renovable y no causa contaminación. Sin embargo, la energía eólica todavía solo proporciona menos del uno por ciento del consumo de energía global.

El viento se ha utilizado como fuente de generación de energía durante décadas convirtiéndola en una de las formas de energías más antiguas renovable.

## **2.10. Aerogeneradores.**

Una turbina eólica es una máquina para convertir la energía cinética del viento en energía mecánica. Si la energía mecánica es utilizada directamente por la máquina para triturar productos o bombear agua, la máquina se denomina molino de viento. Si la energía mecánica se convierte en energía eléctrica, la máquina se denomina aerogenerador.

Las turbinas de escala industrial varían de tamaños desde 100 kW a varios MW. (Eere, 2007)

### 2.10.1. Funcionamiento de un Aerogenerador.

El viento impone dos fuerzas motrices sobre los alabes de una turbina; levantar y arrastrar. Se produce una fuerza cuando el viento en el lado del sotavento del perfil aerodinámico debe recorrer una distancia mayor que la del lado del barlovento. El viento que viaja del lado del barlovento debe viajar a una velocidad mayor que el viento que viaja a lo largo del lado de sotavento. Esta diferencia de velocidad crea una diferencia de presión. En el lado de sotavento, se crea un área de baja presión, tirando del perfil aerodinámico en esa dirección.

Esto se conoce como el principio de Bernoulli. La elevación y el arrastre son los componentes de este vector de fuerza perpendicular y paralelo al viento aparente o relativo, respectivamente. Al aumentar el ángulo de ataque, la distancia que el aire sotavento viaja aumenta.

(Chang, 2005, Capítulo 4)

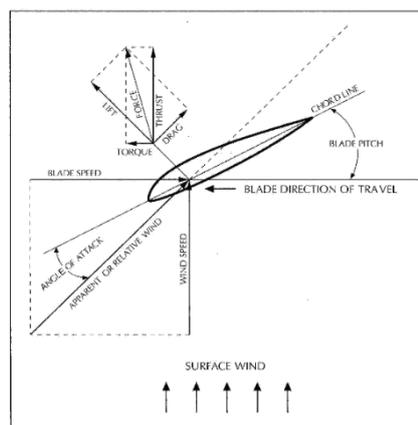


Figura 2. 6: Aerodinámica de los alabes definiendo ángulo de ataque.  
Fuente: (Chang, 2005)

### **2.10.2. Tipos de Aerogeneradores.**

Existen dos tipos de equipos de conversión de energía eólica: los que dependen principalmente de la elevación aerodinámica y los que utilizan como factor principal la resistencia aerodinámica. Las turbinas de alta velocidad dependen de la fuerza de elevación para mover los alabes. Para generar electricidad a partir de una turbina eólica, es usualmente deseable que el eje motor del generador funcione a una velocidad considerable (2500 RPM). Esto, junto con la mayor eficiencia aerodinámica de los dispositivos de elevación, significa que las turbinas que dependen la resistencia aerodinámica no son de uso común. (Jenkins & Walker, 2008, p. 8)

#### **2.10.2.1 Aerogenerador de eje horizontal.**

El HAWT es la configuración de turbina más común. Las hélices y los mecanismos de la turbina están montados a una gran altura del suelo sobre un enorme pedestal. La altura a la que se encuentran estos aerogeneradores representa una desventaja al momento de realizarle mantenimiento al sistema. Además requiere un sistema mecánico de guía para orientarlos de tal manera que su horizontal sea perpendicular al viento. Debido a que la generación de potencia está relacionada con el área de barrido (diámetro) rotor, por lo tanto para obtener una mayor potencia se requiere un diámetro mayor. Los alabes experimentan fuertes fuerzas de

empuje y par, por lo que el tamaño está limitado por la resistencia de los alabes. Las turbinas eólicas más grandes son más eficientes y rentables.(Ragheb, 2015, p. 1)

En este tipo de configuración el generador está encerrado en la carcasa. La carcasa es donde se encuentra la caja de cambios y el generador.

El principio del movimiento de los alabes del HAWT es que el viento viaja sobre la parte superior del alabe en lugar de debajo de ella, creando menos presión en la parte superior del alabe de generación y da la creación del movimiento rotatorio de los alabes.(Lu, Hongxing, & Burnett, 2002, p. 465)

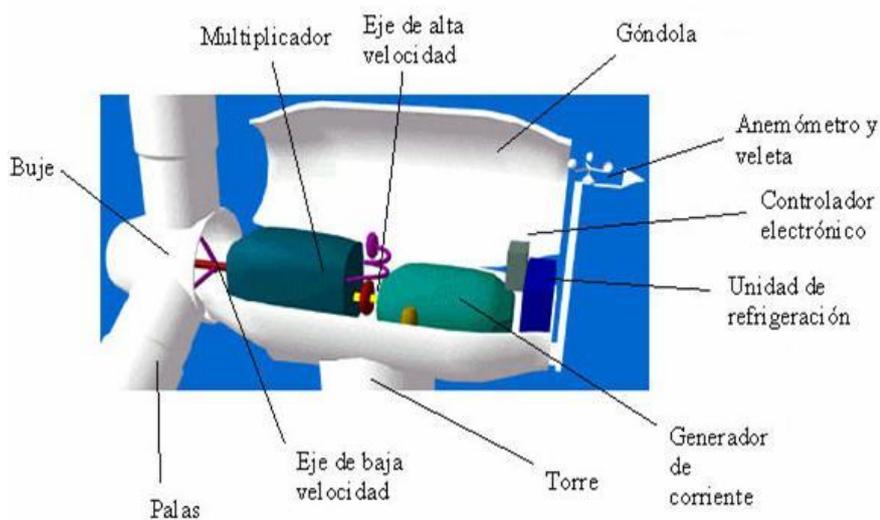


Figura 2. 7: Partes de un aerogenerador HAWT.  
Fuente: ("Funcionamiento | SMI Energías Renovables", 2016)

### **2.10.2.2 Aerogenerador de eje Vertical VAWT.**

Las turbinas de viento de eje vertical son capaces de atrapar el viento desde todas las direcciones, y no necesitan mecanismos de guía, timones o conos de viento. Sus generadores eléctricos pueden ser colocados cerca del suelo, y por lo tanto fácilmente accesibles. Una desventaja es que algunos diseños no se auto-arrancan.

Ha habido dos tipos distintos de aerogeneradores de eje vertical: el Darrieus y los tipos Savonius. Se están introduciendo nuevos conceptos de máquinas de viento de eje vertical, tales como los tipos helicoidales, especialmente para uso en entornos urbanos donde se consideran más seguros debido a sus velocidades de rotación más bajas evitando el riesgo de eyección de los alabes y ya que pueden atrapar el viento desde todas las direcciones.

Las turbinas de viento de eje horizontal suelen ser más eficientes en la conversión de energía eólica en electricidad que las turbinas de viento de eje vertical. Por esta razón, se han convertido en dominantes en el mercado de energía eólica a escala comercial. Sin embargo, las turbinas eólicas de eje vertical de menor tamaño son más adecuadas para las zonas urbanas, ya que tienen un bajo

nivel de ruido y debido al menor riesgo asociado con sus velocidades de rotación más lentas.

Su coste bajará sensiblemente una vez que se produzca en masa en una escala de línea de producción equivalente a la industria del automóvil.

El desarrollo económico y el uso viable de aerogeneradores de eje horizontal, en el futuro, serían limitados, en parte debido a las altas cargas de tensión en las palas grandes. Se reconoce que, aunque menos eficientes, las turbinas eólicas de eje vertical no sufren tanto de las cargas gravitacionales que varían constantemente limitando el tamaño de las turbinas de eje horizontal.(Bullis, 2013, p. 35)

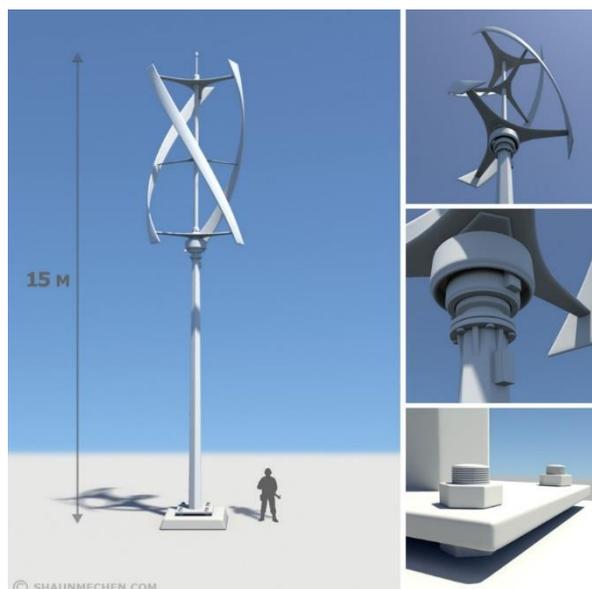


Figura 2. 8: Turbina eólica de eje vertical de 15 m de alto.  
Fuente: (Shaun, 2016)

### **2.11. Turbina de eje vertical Darrieus.**

El primer aerogenerador aerodinámico de eje vertical fue desarrollado por Georges Darrieus en Francia y patentado por primera vez en 1927. Su principio de funcionamiento depende del hecho de que su velocidad de la hoja es un múltiplo de la velocidad del viento, dando como resultado un viento aparente a lo largo de toda la revolución.

Desde la perspectiva de la hoja, el movimiento de rotación de la cuchilla genera un viento de cabeza que se combina con el viento real para formar el viento aparente. Si el ángulo de ataque de este viento aparente sobre la cuchilla es mayor que cero, la fuerza de elevación tiene una componente delantera que propulsa la turbina.

El ángulo de ataque que varía en una revolución entre -20 a +20 grados no debe exceder de 20 grados ya que en ángulos más altos el flujo a lo largo de la cuchilla ya no es laminar, que es una condición requerida para la generación de una fuerza de elevación, Turbulento que causa la parada.

Un ángulo de ataque entre cero y 20 grados requiere una velocidad de hoja suficientemente alta. Una turbina Darrieus no puede iniciarse por sí misma; Necesita ser llevada a una velocidad de cuchilla suficientemente alta por medios externos. Sin embargo, la falta de un sistema de control para apuntar la turbina al viento compensa este déficit.

La turbina Darrieus original tuvo algunas características negativas como vibraciones violentas que lo condujeron al fracaso eventual debido a la fatiga en las láminas, un alto nivel de ruido y una eficacia relativamente baja, que limitó severamente su éxito. (Kuang, 2008, pp. 43–47).

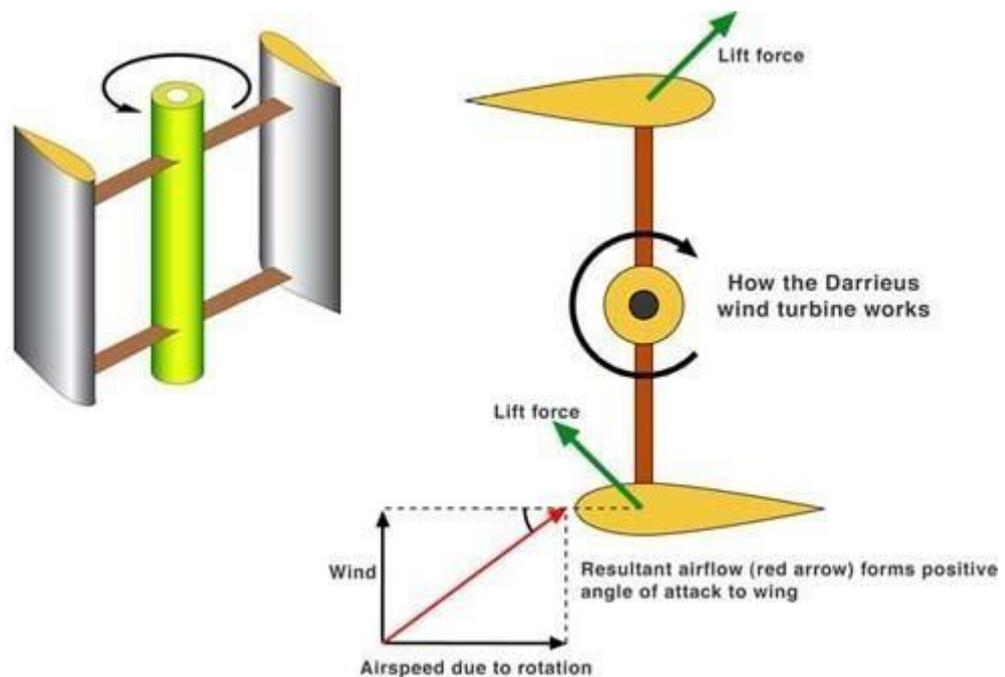


Figura 2. 9: Principio de funcionamiento de VAWT Darrieus.  
Fuente: (Kuang, 2008, párr. 475)

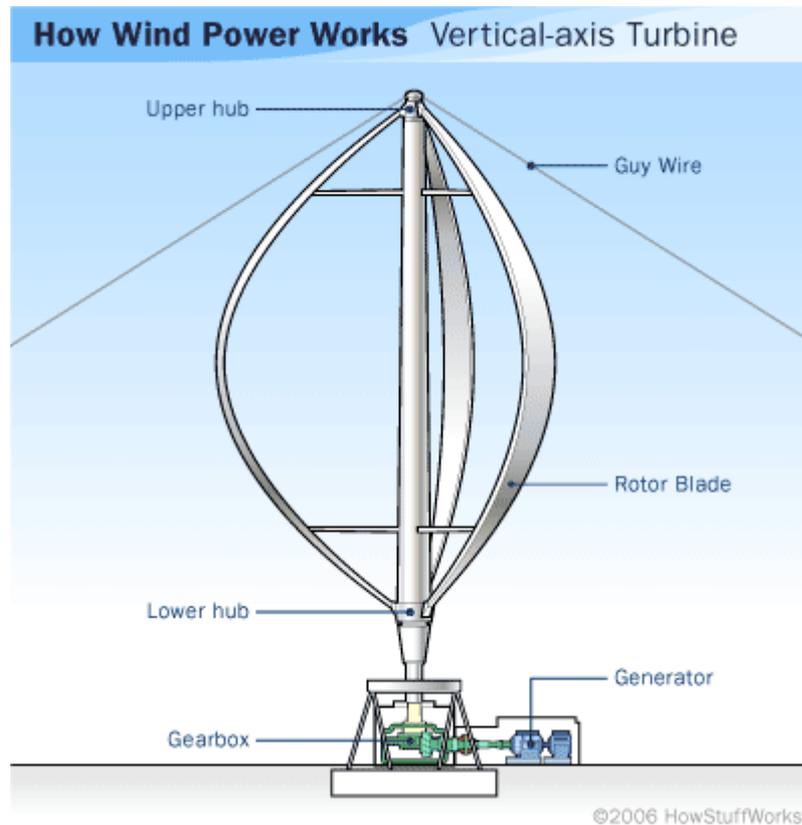


Figura 2. 10: Muestra cómo funciona un VAWT Darrieus.  
Fuente: (Pinterest, 2015)

### 2.11.1 Concepto aerodinámico de Darrieus.

El tipo de máquina Darrieus consiste en dos o más láminas aerodinámicas flexibles, que se unen a la parte superior y la parte inferior de un eje vertical rotatorio. El viento que sopla sobre los contornos del perfil aerodinámico de la hoja crea una elevación aerodinámica y este actúa a lo largo de la cuchilla.

Hubo una serie de parques eólicos comerciales construidos en los EE.UU. con el diseño de Darrieus. Las máquinas demostraron ser

eficientes y confiables. Sin embargo, hubo un problema con la fatiga en las cuchillas. Las palas aerodinámicas fueron diseñadas para flexionar, permitiendo fuerzas centrífugas extra en el viento alto y velocidades de hoja. La flexión de las cuchillas condujo a una fatiga prematura del material de la cuchilla, dando lugar a una serie de fallos de la cuchilla.

Las turbinas del eje vertical construidas y probadas en los años 70 y los años 80, utilizaron un perfil de hoja aerodinámica simétrico. Su teoría era que, si el perfil aerodinámico es simétrico, entonces proporcionará elevación desde ambos lados del perfil aerodinámico, generando así una elevación a través de más de la trayectoria de 360° de la rotación de las palas. También se creía en ese momento que el levantamiento sólo se crearía por la cuchilla mientras se desplazaba en la dirección del flujo del viento y que el arrastre creado por la hoja opuesta que viajaba por el viento era un efecto indeseable aunque inevitable.

Un perfil aerodinámico simétrico no es el método más eficiente para proporcionar elevación. Un objetivo de diseño era maximizar la elevación al mismo tiempo que la utilización de la resistencia inevitable creada por la hoja opuesta. Ha habido varios intentos de usar cuchillas articuladas

Del brazo transversal, permitiendo así que la sección de la cuchilla mantenga su ángulo óptimo de ataque a través de la porción máxima de su rotación arqueada. Un perfil óptimo de la hoja y un ángulo de fijación óptimo para la cuchilla al brazo transversal podrían lograr el mismo objetivo.

El viento que fluye sobre el perfil de alta elevación y baja hoja de arrastre, junto con la solidez de las superficies de las palas, le da a la máquina la potencia inicial necesaria para superar su inercia. Una vez que se ha establecido el impulso, el movimiento hacia adelante de la hoja a través del aire crea su propio flujo de viento local sobre sus contornos, creando una cantidad variable de elevación a lo largo de los 360° de su rotación. En su carrera de viento hacia abajo, la parte inferior curvada de la hoja actúa como la vela de un yate, por lo tanto, creando par útil en toda su rotación. El estancamiento de las cuchillas en la parte superior e inferior de su arco de rotación es también útil,

Ya que regula la velocidad de rotación de las cuchillas, lo que implica que las cuchillas se aceleran hasta un punto de equilibrio en el que no aumentarán su velocidad sin importar lo duro que sopla el viento.

Las cargas más constantes y predecibles sobre una pala de turbina de eje vertical, unidas a que no exista la necesidad de que las cuchillas se torsionen, no sólo contribuyen a la posibilidad de aumento de escala

sino que también permiten su producción en secciones usando producción mecánica en masa Técnicas.(Slootweg, Polinder, & Kling, 2011, p. 4,6-11)



Figura 2. 11: Darrieus VAWT con el generador en la base y de 2 aspas.  
Fuente: (Cgtrader, 2015)

## 2.12. Turbina de eje vertical Savonius.

La turbina Savonius es una máquina de eje vertical que utiliza un rotor que fue introducido por el ingeniero finlandés S. J. Savonius en 1922. En su forma más simple es esencialmente dos tazas o medio tambores fijados a un eje central en direcciones opuestas. Cada copa o tambor atrapa el viento y así gira el eje, llevando la copa o tambor opuesto al flujo del viento. Esta taza o tambor luego repite el proceso, haciendo que el eje gire más y complete una rotación completa. Este proceso continúa todo el tiempo el viento sopla y el giro del eje se utiliza para conducir una bomba o un pequeño generador. Estos

tipos de molinos de viento también se utilizan comúnmente para los instrumentos de la velocidad del viento tales como el anemómetro.

Las modernas máquinas Savonius han evolucionado hasta convertirse en dispositivos con cuchillas canaladas, que tienen una mayor eficiencia y menos vibración que las máquinas gemelas más viejas o las cajas de ritmos.(Dabiri, 2011, vol. 3)

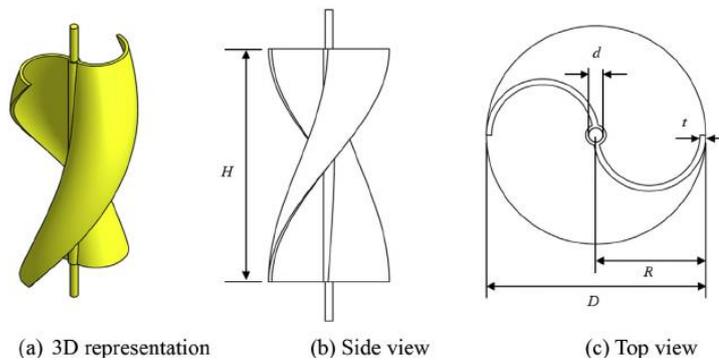


Figura 2. 12: Vistas de un VAWT Savonius.  
Fuente: (ResearchGate, 2014)



Figura 2. 13: Uso de VAWT en zonas urbanas destinadas a iluminar carteles publicitarios.  
Fuente: (Pinterest, 2014)

## **CAPÍTULO 3: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR HELICOIDAL DE EJE VERTICAL**

### **3.1. Descripción de la implementación a realizar.**

En este capítulo, se realizó el diseño del aerogenerador, identificando los factores internos y externos a los que se verá expuesto durante su funcionamiento; de esta manera se llevó a cabo la selección más adecuada de los equipos y materiales que conforman el sistema del aerogenerador.

### **3.2. Condiciones Ambientales.**

Las condiciones ambientales son las lecturas experimentales tomadas en el lugar donde se planea ubicar el aerogenerador, considerando como factor principal la velocidad del viento, ya que una mayor velocidad se generara una mayor potencia. Otro factor destacado es la estabilidad del viento, es decir se requerirá de un sector que no cuente con interferencias en la circulación del viento como elevaciones, árboles o edificios que puedan afectar y alterar la potencia a producir por el generador. Cabe destacar que a mayor elevación, se tendrá una mayor velocidad, por lo que se escogerá una superficie plana lo más alta posible.

Se consideró también la frecuencia de precipitaciones en el sector ya que para la construcción del aerogenerador se deberá contar con materiales resistentes a la corrosión y al cizallamiento ya que la lluvia viene acompañada de vientos turbulentos.

### 3.3. Estudio realizado al lugar destinado a la implementación.

Mediante el uso del anemómetro se realizó el estudio del flujo del viento para determinar los parámetros necesarios para la construcción del aerogenerador, y así poder concluir de forma teórica el comportamiento de este y después llevarlo a la parte experimental, a continuación se ilustran las lecturas tomadas:

Tabla 3. 1: Mediciones realizadas el 17 de noviembre del 2016

<b>Jueves 17 de noviembre del 2016</b>	
Hora	Velocidad (Km/h)
09:20	18.3
09:30	19.3
09:35	14.2
09:45	27.7
09:50	22.3
10:00	18.3
10:05	8.6
10:10	15.4
10:15	27.5
10:20	17.6

Elaborado por: Autores

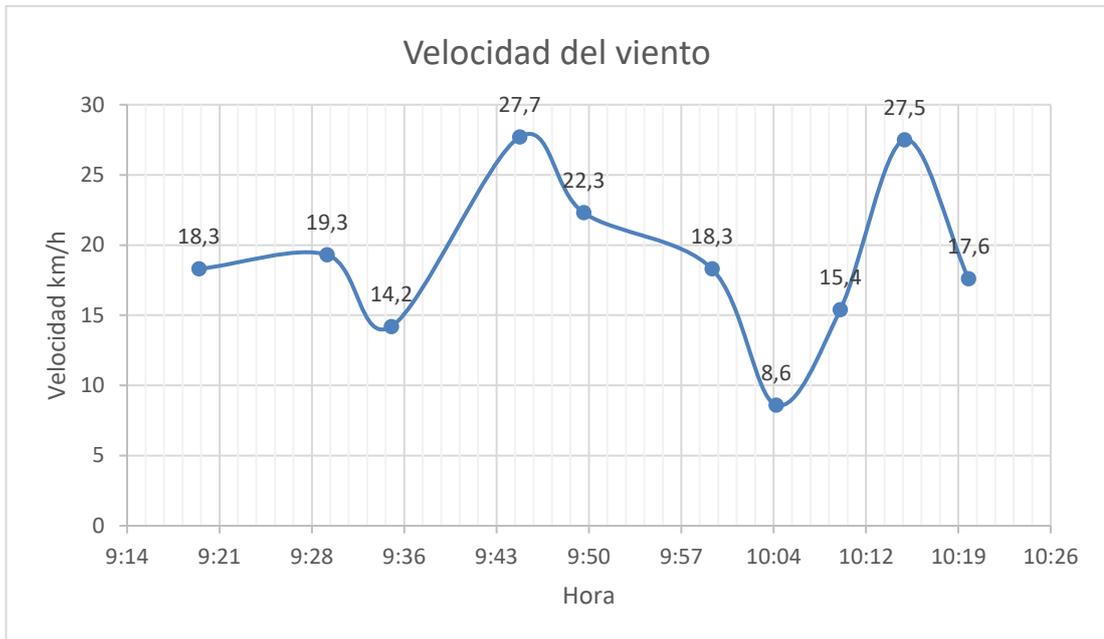


Figura 3. 1: Grafico en base a los puntos tomados en la tabla 3.1  
Fuente: Autores.

Tabla 3. 2: Mediciones realizadas el 18 de noviembre del 2016

<b>Viernes 18 de Noviembre del 2016</b>	
Hora	Velocidad (Km/h)
13:20	6.3
13:35	5.9
13:40	10.5
13:45	8.6
13:50	12.7
13:56	14.6
14:00	11.3
14:08	15.2
14:15	6.5

14:25	12.2
-------	------

Elaborado por: Autores

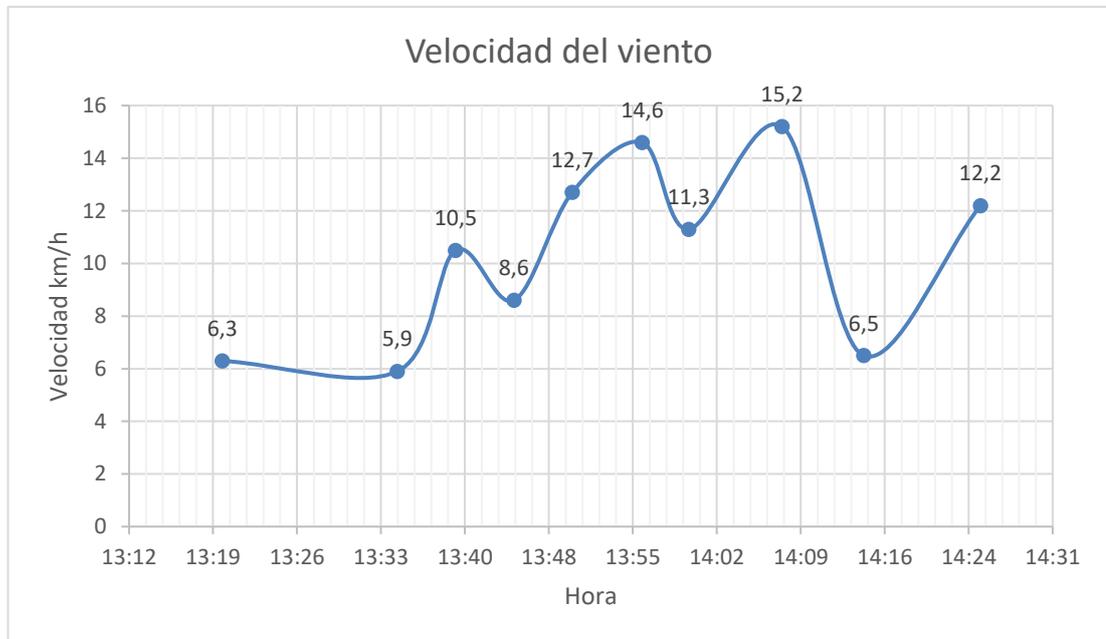


Figura 3. 2: Grafico en base a los puntos tomados en la tabla 3.2.  
Fuente: Autores.

Tabla 3. 3: Mediciones realizadas el 21 de Noviembre del 2016

<b>Lunes 21 de Noviembre del 2016</b>	
Hora	Velocidad (Km/h)
17:00	16.4
17:05	14.3
17:10	9.3
17:20	12.6
17:25	24.3
17:30	18.6
17:40	17.3

17:45	13
17:55	10.3
18:00	20.5

Elaborado por: Autores

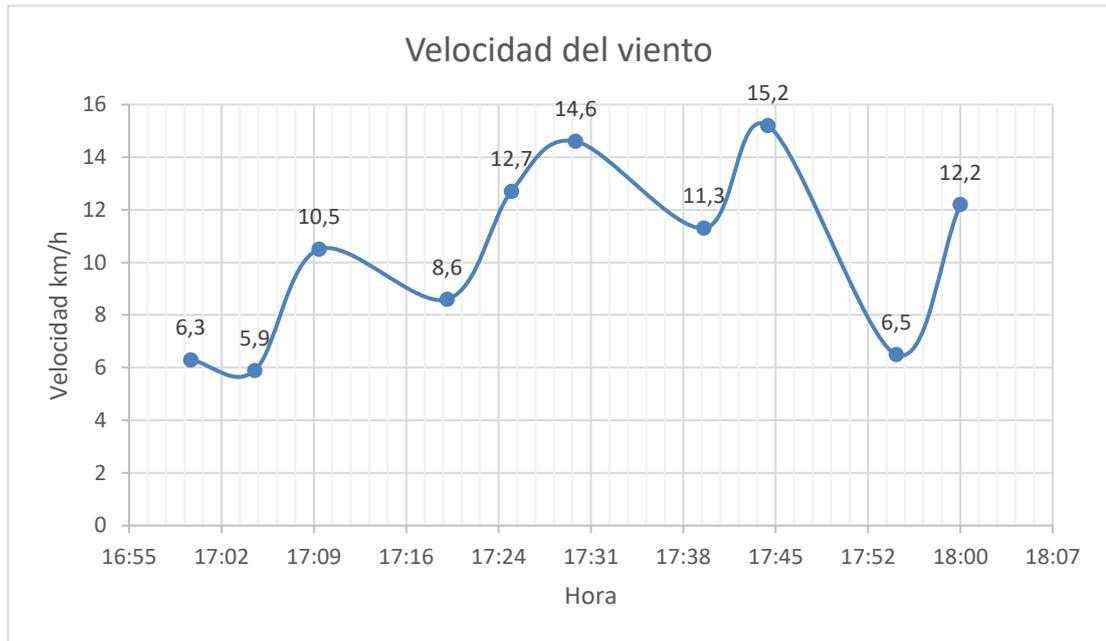


Figura 3. 3: Grafico elaborado en base a los datos tomados de la tabla 3.3  
Fuente: Autores.

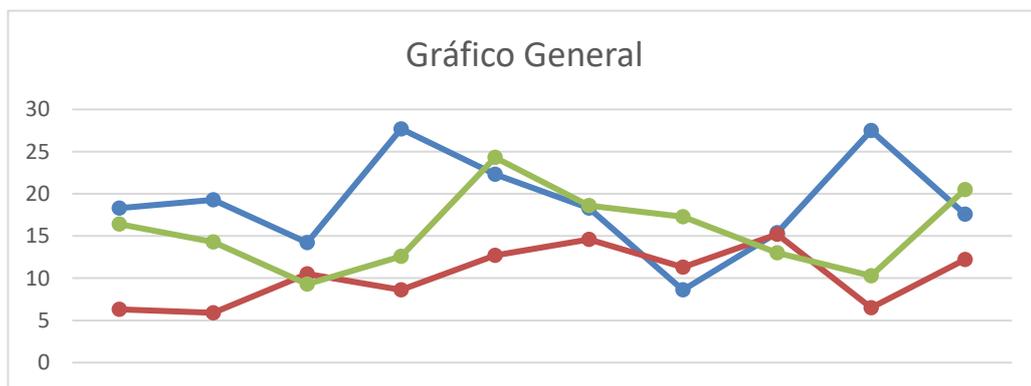


Figura 3. 4: Grafico que muestra los puntos de velocidades más altos en base a los 3 días.  
Fuente: Autores.

Como se observa en la Figura 3.4 después de las 12:00 horas tenemos menos flujo de viento, durante el cual la generación será escasa, sin embargo

en la mañana y a partir de las 18:00 el flujo de viento aumenta considerablemente con lo cual tenemos una generación exitosa. Durante la noche el flujo de viento aumenta drásticamente en la zona donde se decidió a realizar la implementación, por lo cual se consideró instalar un controlador de carga el cual regula el voltaje a 12V y prolonga la vida útil de la batería, además este cuenta con un medidor de voltaje el cual muestra el nivel de carga de la batería.

Tabla 3. 4: Mediciones realizadas el 21 de Noviembre del 2016

<b>Lunes 21 de Noviembre del 2016</b>	
Hora	Velocidad (Km/h)
20:00	20.3
20:05	18.6
20:10	15.3
20:25	9.3
21:00	28.3
21:05	30.6
21:20	17.6
21:25	15.1
21:30	10.2
21:35	16.3
21:40	18.4
21:45	9.6
21:55	14.9

22:05	16.3
-------	------

Elaborado por: Autores

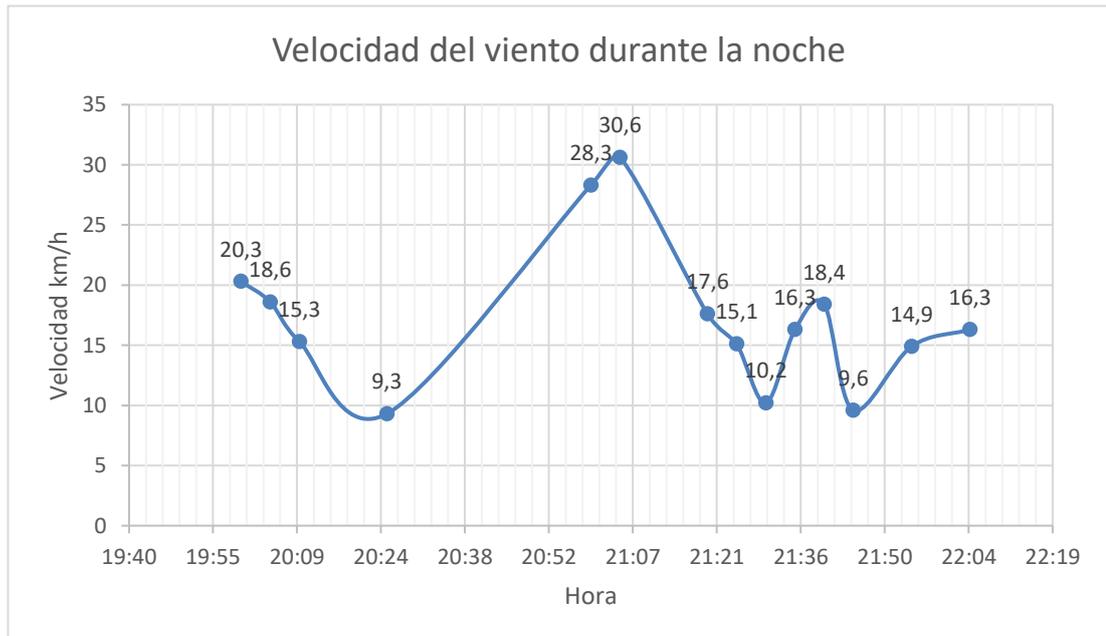


Figura 3. 5: Grafica elaborada con los puntos tomados durante la noche.  
Fuente: Autores.

### 3.4. Requerimientos generales para el diseño del aerogenerador

Para las condiciones del sitio previamente establecido, se llegó a la conclusión que el modelo más adecuado para aprovechar las condiciones ambientales para la generación de energía eléctrica, será un aerogenerador de bajas revoluciones, helicoidal de eje vertical tipo Savonius de 2 metros de altura por 1.20 metros de diámetro, construido en aluminio.



Figura 3.6: Lugar donde se realizara la instalación del aerogenerador.

Fuente: Autores.

### **3.5. Diseño estructural del Aerogenerador.**

Para iniciar el diseño de nuestro aerogenerador, empezamos elaborando la estructura del mismo, el cual cuenta de 5 segmentos en forma de “S” ya que los aerogeneradores Savonius cuentan con esta forma. Estos segmentos están centrados sobre el mismo eje, equidistantes entre sí, y girando cada segmento un ángulo  $\Theta$  determinado por el número de segmentos dividido para  $180^\circ$ .

#### **3.5.1. Diseño y elaboración del eje.**

El eje del aerogenerador está formado por un tubo de aluminio de  $1\frac{1}{2}$ ” de 2.30 m, donde estarán ubicados los segmentos “S”.

### 3.5.2. Diseño y elaboración de los segmentos.

Para la elaboración de los segmentos "S", se lo elaboro a partir de dos semicircunferencias de 50 cm de diámetro, construidas en tubo EMT de  $\frac{1}{2}$ " debido a su ductilidad y poco peso; uniendo las dos semicircunferencias con un bocín. La estructura consta de 5 segmentos separados 40 cm entre ellos, y cada segmento irá rotando  $36^\circ$ .



Figura 3. 7: Vista del segmento "S" desde la parte superior.  
Fuente: Autores.



Figura 3. 8: Vista isométrica del segmento "S"  
Fuente: Autores.

### 3.5.3. Diseño de las aspas del aerogenerador.

La aspas están fabricadas con planchas de aluminio de 0.2 mm de espesor la cual está revistiendo los segmentos “S” de la estructura del aerogenerador hasta conseguir la forma helicoidal deseada.

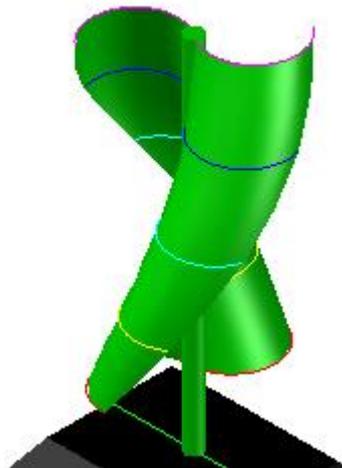


Figura 3. 9: Vista Isométrica de las hélices de la turbina.  
Fuente: Autores.

### 3.5.4. Diseño y elaboración de la base del aerogenerador.

El diseño de la base consiste en una estructura conformada de tubos cuadrados de 3” y 3 mm de espesor de hierro negro con lo cual la base dará la resistencia requerida para soportar el peso de los equipos y del aerogenerador en si, además que debe soportar los diversos cambios climáticos que se dan en nuestro país.

También sirve de alojamiento para los instrumentos de medición, almacenamiento de energía, y protección del sistema de transmisión del sistema del aerogenerador

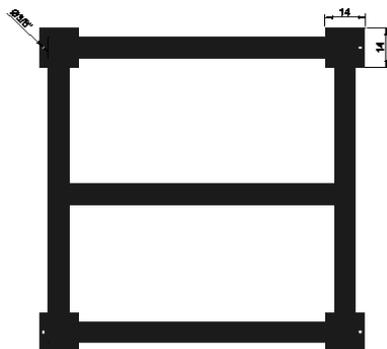


Figura 3. 10: Vista superior de la base  
Fuente: Autores

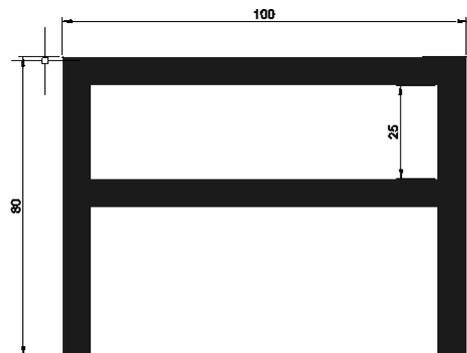


Figura 3. 11: Vista lateral de la base  
Fuente: Autores

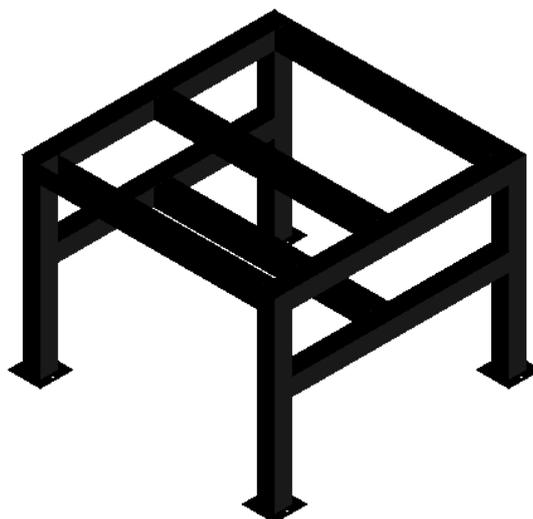


Figura 3. 12: Vista Isométrica de la base del aerogenerador.  
Fuente: Autores

### 3.6. Diseño de la estructura de estabilización de la turbina del aerogenerador.

Para evitar movimientos oscilatorios del eje principal del aerogenerador, producidos por las distintas fuerzas de empuje del viento, se diseñó una estructura en forma de trípode para instalar en su parte superior una chumacera la cual proporciona estabilidad y dirección al eje principal. De esta manera, todas las fuerzas del viento que actuaran sobre el aerogenerador, proporcionarían únicamente un movimiento de rotación sobre su propio eje. Por lo tanto el eje está libre de fuerzas de torsión y cizallamiento.

Esta estructura se construyó con tubo cuadrado de 3" y de 3 mm de espesor de hierro negro.

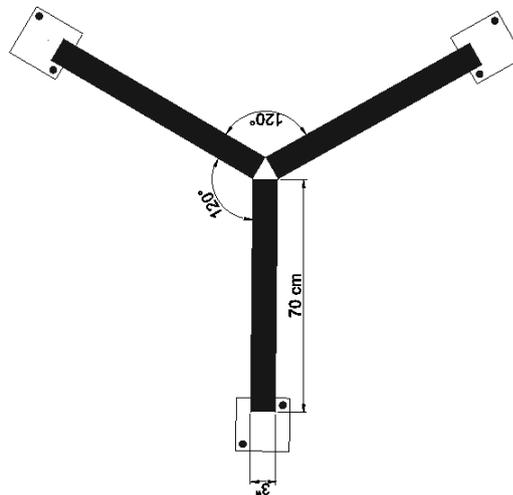


Figura 3. 13: Vista superior de la estructura de estabilización.  
Fuente: Autores.

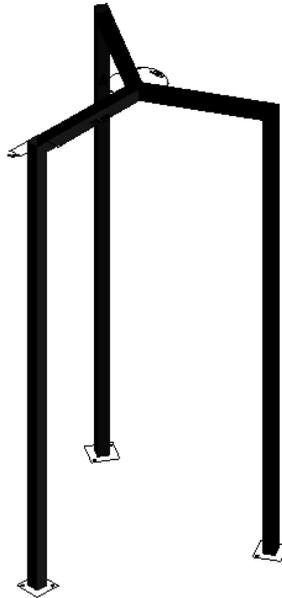


Figura 3. 14: Vista Isométrica de la estructura de estabilización.  
Fuente: Autores.

### **3.7. Diseño y elaboración del sistema de transmisión del aerogenerador.**

El sistema de transmisión del aerogenerador se encarga de enviar la energía cinética emitida por la turbina eólica hasta el motor el cual transforma la energía mecánica percibida desde la turbina en energía eléctrica, todo esto se realiza mediante una serie de elementos los cuales son:

- Chumaceras
- Cadena
- Piñones
- Templador
- Bocines

### 3.7.1. Selección de las chumaceras.

Este sistema consta de dos chumaceras, la primera tiene como función disminuir las fuerzas de cizallamiento que se pueden producir debido al momento de torsión que se produce en la parte más alta de la turbina al momento de auto arrancar, y la segunda sirve para el eje motriz del sistema de transmisión.



Figura 3. 15: Chumaceras de 1 ½" de pared destinadas para la parte inferior del eje.  
Fuente: Autores.



Figura 3. 16: Chumacera de techo de 1 ½" destinada a la estructura estabilizadora.  
Fuente: Autores.

### 3.7.2. Diseño y elaboración del piñón.

Para realizar la transmisión de movimiento del eje de la turbina de viento hacia el eje del motor generador de energía eléctrica, se diseñó un piñón de 30 dientes y 1/2" de paso, el cual está en la base del eje, unido mediante un bocín, transmitiendo el movimiento al piñón del motor mediante una cadena.

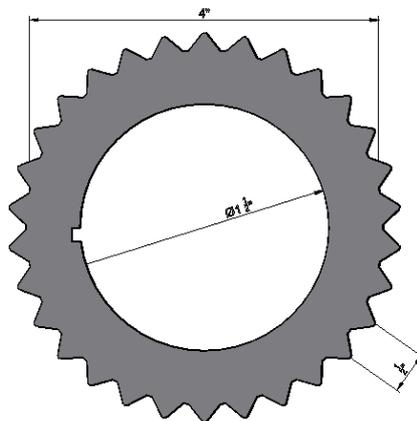


Figura 3. 17: Vista superior del piñón y sus respectivas cotas.  
Fuente: Autores.

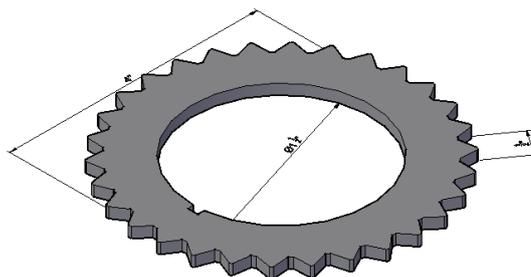


Figura 3. 18: Vista Isométrica del piñón diseñado para el sistema de trasmisión.  
Fuente: Autores.

### 3.7.3. Selección de la cadena.

La cadena a utilizar para la transmisión de movimiento del piñón del eje de la turbina de viento al piñón del eje del motor, se seleccionara de acuerdo al paso de los piñones utilizados.



Figura 3. 19: Cadena seleccionada para el sistema de transmisión.  
Fuente: Autores.

### 3.7.4. Diseño y elaboración de la base del motor.

La base del motor sirve tanto para el soporte del motor en la base del aerogenerador, como también sirve como un mecanismo para tensar la cadena ya que cuenta con un camino corredizo.

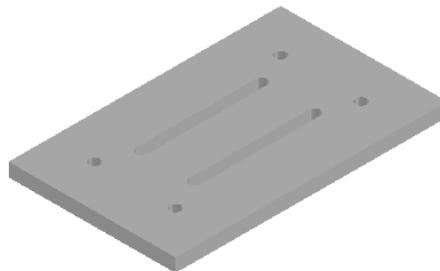


Figura 3. 20: Vista isométrica de la placa base del motor.  
Fuente: Autores.

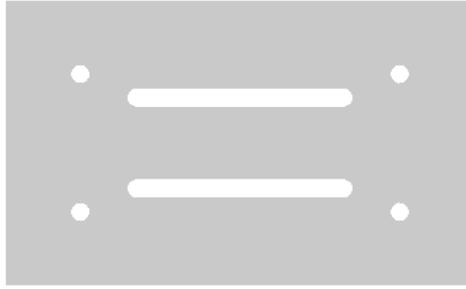


Figura 3. 21: Vista superior de la placa base del motor.  
Fuente: Autores.

### **3.8. Diseño del sistema eléctrico para el sistema de iluminación de emergencia.**

#### **3.8.1 Descripción de la implementación a realizar.**

El sistema eléctrico se alimenta de un banco de baterías el cual suministra la energía necesaria para la carga, dicho sistema consta de 20 LED COB que se enciende en la noche y en momento de suspensión de la energía eléctrica provista por la empresa encargada.

El sistema está conformado por:

- 1 Inversor 500W
- 2 Contactores.
- 20 LED COB
- 20 Disipadores de calor
- 1 Fococélula.

### 3.8.2 Diagrama eléctrico a conectar.

El siguiente diagrama detalla la conexión de los equipos para realizar la automatización del sistema de alumbrado de emergencia con LEDs COB los cuales encenderán únicamente de noche y en ausencia de energía eléctrica pública.

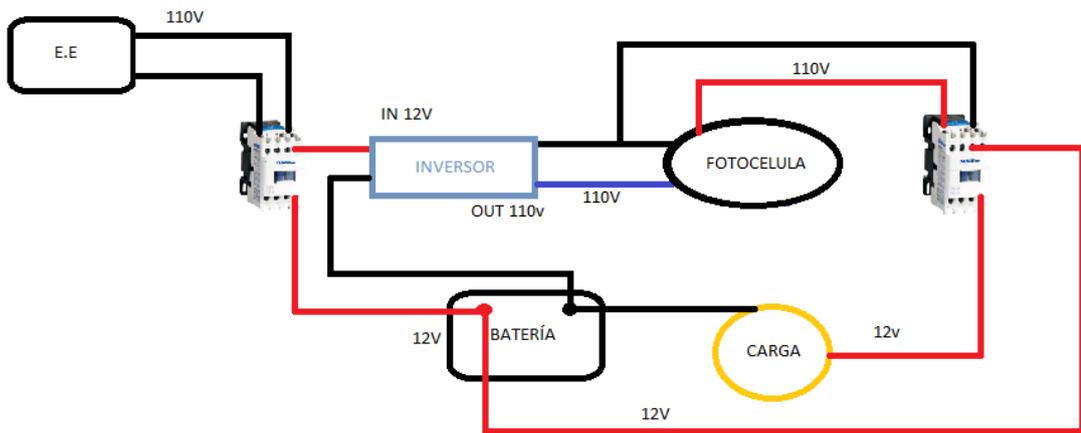


Figura 3. 22: Diagrama de la automatización realizada.  
Fuente: Autores

### 3.8.3 Selección del Inversor.

El inversor eléctrico que se seleccionó fue uno de 500W ya que este realiza la acción de activar el contactor (C2), para cumplir esta acción se requiere un inversor de una potencia mayor de 300W, ya que al ser de una menor potencia el contactor realizaría su trabajo de una manera deficiente y llegaría a sobrecalentarse.



Figura 3. 23: Inversor de 500W instalado.  
Fuente: Autores.

### 3.8.4 Selección de los contactores.

Se instalarán 2 contactores necesarios para la automatización del sistema eléctrico de emergencia, donde. C1 será el encargado de permitir el paso de energía eléctrica al momento de la ausencia de energía eléctrica principal desde la batería hasta el inversor el cual activará C2, C2 permitirá el paso de energía de la batería hasta los LEDS COB.

Tabla 3. 5: Datos técnicos de los Contactores.

Tipo	3SC8-09	3SC8-12	3SC8-18	
prototipo				
certificación				
número de polos	3,4	3,4	3	
corriente nominal de funcionamiento Ie(A): En Ac-3	9	12	18	
En Ac-1	25	25	32	
tensión de funcionamiento nominal Ue (V): hasta				
límites de frecuencia de la corriente de funcionamiento (Hz):				
corriente nominal convencional termal Ith(A):	25	25	32	
aislamiento tensión nominal Ui(V):				
impulso nominal tensión de ruptura Uimp (kV):				
frecuencia nominal (Hz)				
capacidad nominal (A)	400V	250	250	300
capacidad de ruptura nominal (A)	400V	250	250	300
potencia nominal operativa en la categoría AC-3	220/230/240 V	2.2	3	4
	380/400V	4	5.5	7.5
	660/690 V	5.5	7.5	10
fusible de protección contra cortocircuitos (A)	sin rele de sobrecarga térmica, Fusibles Gg tipo 1	25	40	50
	tipo 2	20	25	35

Elaborado por: Autores



Figura 3. 24: Contactores de la marca SASSIN de 12 A.  
Fuente: Autores.

### 3.8.5 Selección de los LEDs COB.

Los LEDs COB que se implementaran son de 10 W, ya que cada uno de estos corresponde a un foco incandescente de 50 W aproximadamente. Se escogió este modelo de LEDs por su bajo consumo y alta luminosidad, aunque uno de los aspectos negativos es su tendencia a calentarse en el centro del CHIP por lo cual se tuvo que instalar disipadores térmicos.

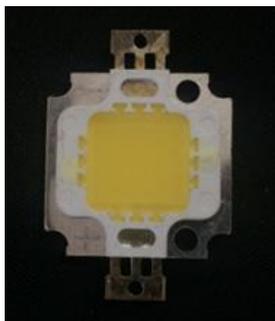


Figura 3. 25: LED COB de 10W destinado a instalarse.  
Fuente: Autores.

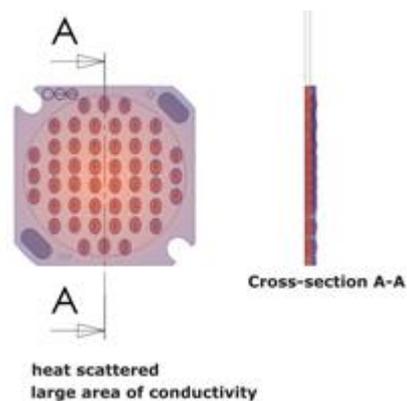


Figura 3. 26: Secciones de calentamiento de los LEDs COB  
Fuente: Autores.

### 3.8.6 Diseño de los disipadores de calor.

El disipador pasivo de calor es una pieza importante en el sistema de alumbrado LEDs COB ya que estos llegan fácilmente a alcanzar temperaturas de 80 °C, se diseñó con un canal de aluminio de 1 ½” y 2 mm de espesor lo cual es suficiente para disipar la energía calórica que estos producen ya que se encuentran al aire libre, además que irán unidos al disipador con la debida pasta térmica para efectivizar la transferencia de calor.

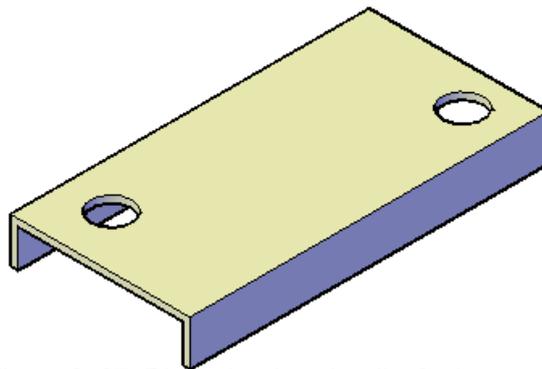


Figura 3. 27: Disipador de calor diseñado para el COB LED.  
Fuente: Autores.

### 3.9. Selección del motor-generator.

$$K = \frac{3400 \text{ RPM}}{500 \text{ W}} = 6,8 \frac{\text{RPM}}{\text{W}} \quad \text{Relación de la Potencia del motor con los RPM}$$

$$V = 27 \frac{\text{Km}}{\text{h}} \quad \text{Cambiamos de unidades.} \quad V = 450 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$\omega_2 = \frac{V}{R} \quad \omega_2 = \frac{450 \text{ m/min}}{0.51 \text{ m}}$$

$$\omega_2 = 882,35 \frac{Rad}{min} \times \frac{1 Rev}{2\pi Rad} = 140,4 RPM \quad \text{Se halla la velocidad angular de la turbina.}$$

$$\omega_1 = 2 * 140,4 = 280,8 RPM$$

$$P = \frac{280,8 RPM}{6,8 RPM/W} = 41,3 W \quad \text{Potencia a generar para la carga de la batería}$$

El motor seleccionado para la generación de energía por parte del aerogenerador, es un dispositivo con la capacidad de transformar energía mecánica en energía eléctrica, concediendo un nivel alto de rendimiento ya que es un motor de escobillas de 12 voltios de imanes permanentes.

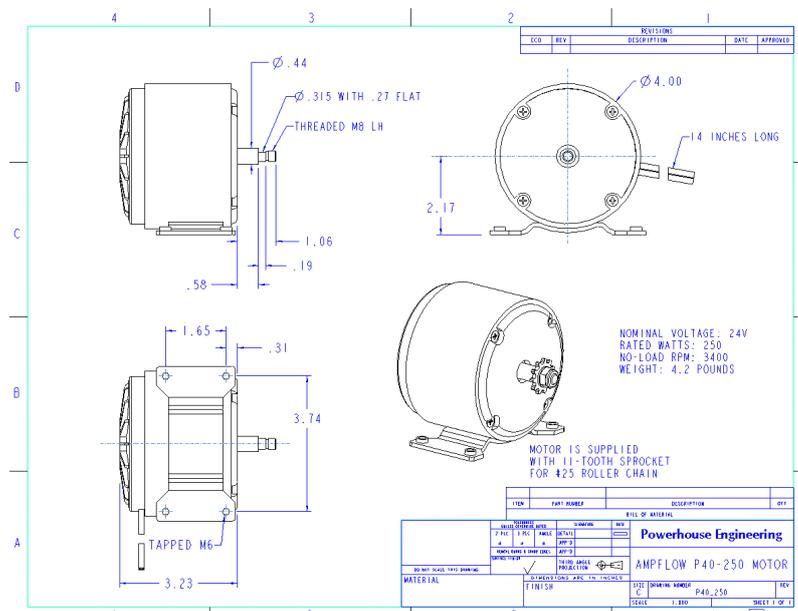


Figura 3. 28: Esquema del motor Amp-Flow p40-500.  
Fuente: [http://www.ampflow.com/ampflow\\_motors.htm](http://www.ampflow.com/ampflow_motors.htm)

Se procede a ilustrar las curvas de rendimiento del motor donde se observa las características técnicas del equipo seleccionado. A partir de un análisis experimental, con un flujo de viento de 18 km/h, el motor alcanza una velocidad de rotación de 2150 rpm lo que produce una potencia de 152 Watts,

con una corriente máxima de 10.3 A y una eficiencia de 52%. Esta será la eficiencia media del aerogenerador ya que la velocidad de 18 Km/h es la moda que se determinó de los datos experimentales realizados con el anemómetro.

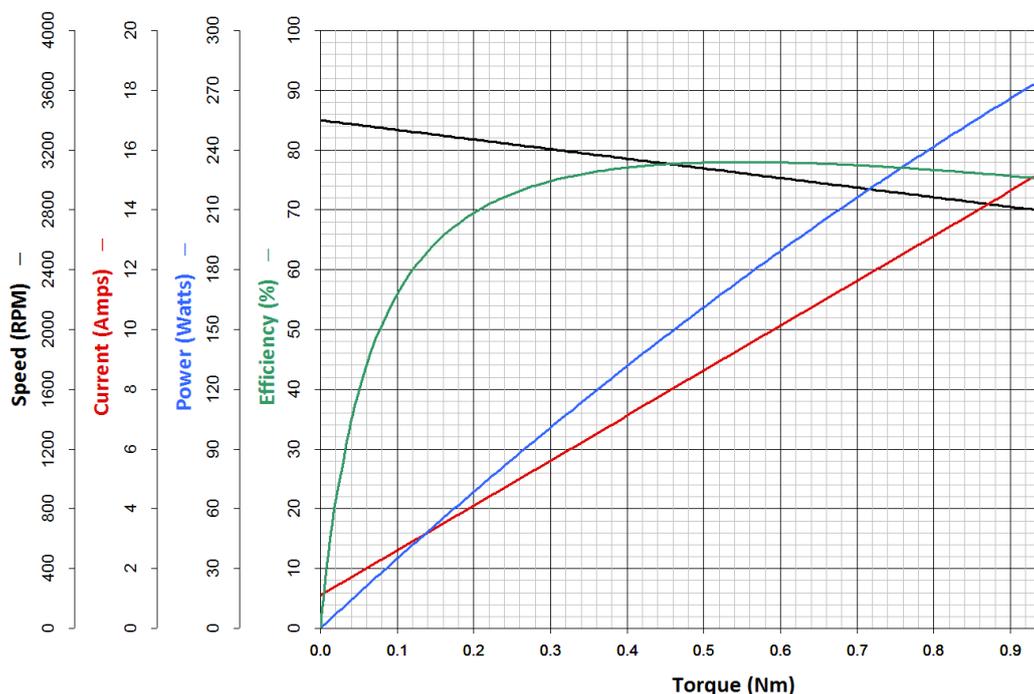


Figura 3. 29: Curva de rendimiento del motor Amp-Flow p40-500.  
Fuente: [http://www.ampflow.com/ampflow\\_motors.html](http://www.ampflow.com/ampflow_motors.html)

### 3.10. Selección del controlador de carga.

El controlador o regulador de carga es un dispositivo instalado en el sistema eléctrico de generación del aerogenerador, para prevenir la sobrecarga y de esta manera se puede proteger contra sobretensiones que pueden disminuir el rendimiento de la batería y su tiempo de vida útil. Además previene que la batería se descargue a un nivel de voltaje donde realizar la

carga del mismo sería más complicado y esto también acortaría el tiempo de vida útil.

Este equipo se instaló debido a que se registraron lecturas mayores a 12V en momentos donde el flujo de aire superaba una velocidad de los 30 km/h.



Figura 3. 30: Controlador de carga de 10A que se instaló.  
Fuente: Autores.

### 3.11. Selección de la Batería.

Esta batería fue seleccionada por los altos estándares de calidad y precio muy cómodo, además este modelo ofrece 42 Ah lo cual permite un tiempo prolongado de funcionamiento de los LEDS COB. La batería NS40 seleccionada para este proyecto de tesis goza de las siguientes características:

- Tapa con termo sellado.
- Aleación plomo – selenio – bajo antimonio en las rejillas.

- Diseño optimizado de rejillas para clima tropical.
- Excelente resistencia a la corrosión.
- Baja auto descarga y gasificación.
- Control trimestral del electrolito.

Tabla 3. 6: Características técnicas de la batería BOSCH NS40.

<b>Batería BOSCH NS40</b>							
Modelo	Capacidad C20 (Ah)	Polaridad	Potencia de arranque 27°C	RC min	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
German Power	40	- + + -	460	60	193	124	224

Elaborador por: Autores.

## **CAPITULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones.**

El presente proyecto de tesis cumple con los objetivos establecidos, de un equipo de generación eólica diseñado y construido de tal manera que resista los cambios climáticos que sufre la ciudad, además consta de un sistema de fácil mantenimiento para la conservación del mismo, esperando que este sirva de incentivo para los estudiantes de próximas generaciones.

La fuente de generación, el aire, presenta obstáculos no significativos, ya que las edificaciones dentro del área de implementación del aerogenerador afectan la circulación y a su vez la eficiencia del mismo ya que estas reducen el flujo y/o la velocidad del viento, aunque el aerogenerador está diseñado en base al modelo Savonius el cual aprovecha al máximo el flujo del aire y la generación de energía eléctrica se puede llevar a cabo a pesar de la presencia de estos edificios o arboles los cuales podrían disminuir su rendimiento.

El aerogenerador diseñado en base al motor Amp Flow p40-500 trabajando este con un flujo de aire a una velocidad de 24 Km/h, la cual es la velocidad media tomada durante el estudio al inicio de este proyecto, nos produce una potencia de 112W a una eficiencia del 38% de la capacidad máxima del motor, con lo cual es suficiente para cargar el banco de baterías instalado y mantener el sistema de alumbrado de emergencia operativo en todo momento.

El sistema de alumbrado de emergencia está operativo y entra en funcionamiento al momento de suspensión de energía eléctrica iluminando el bloque de aulas cercanas al parqueadero,

Debido a que en el Ecuador no se cuenta con la suficiente tecnología e implementos para realizar la parte experimental con los debidos instrumentos, nos vemos en la necesidad de adecuarnos con lo que se encuentra en el mercado nacional o recurrir a la importación de productos, lo cual toma mucho tiempo en llegar al país

#### **4.2. Recomendaciones.**

- Revisar que el controlador de carga este en pleno funcionamiento, ya que si se produce sobregiro por parte del aerogenerador y el controlador esta desconectado, esto podría acortar la vida útil de la batería.
- Reajustar los pernos de las bases cada 3 meses, ya que las vibraciones tenderán a aflojar los pernos de las bases de las chumaceras y del aerogenerador en sí.
- Revisar después de 1 año el estado de la pintura anticorrosiva, ya que sin la presencia de esta, se acortara la vida útil de los elementos de soporte del aerogenerador.

- Revisar el estado de los contactores, y reajustar los tornillos que sujetan los cables.
- En caso de que no encienda los LEDs COB al momento de una ausencia de energía eléctrica, primero revisar la carga de la batería en el controlador de carga, antes de manipular algún otro elemento del sistema eléctrico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bullis, K. (2013). Will Vertical Turbines Make More of the Wind?
- Cgtrader. (2015). Darrieus Wind Turbine | 3D Model. Recuperado el 26 de enero de 2017, a partir de <https://www.cgtrader.com/3d-models/exterior/other/darrieus-wind-turbine>
- Chang, L. (2005). Advanced Topics in Environmental Engineering - Wind Power. Recuperado a partir de <http://www.ece.unb.ca/powereng/courses/EE6693/index.html> in October, 2005.
- Dabiri, J. (2011). *Potential Order-of-magnitude Enhancement of Wind Farm Power Density via Counter-rotating Vertical-axis Wind Turbine Array* (Vol. 3).
- Eere, 2007. (2007). Energy Source Guides (2007) Large Wind Turbine Manufacturers in the World by Business. Recuperado a partir de <http://energy.sourceguides.com/businesses/byP/wRP/lwindturbine/byB/mfg/byN/byName.shtml>
- Funcionamiento | SMI Energías Renovables. (2016). Recuperado a partir de <https://smienergias.wordpress.com/category/energia-eolica/funcionamiento-energia-eolica/>
- Jenkins, N., & Walker, J. (2008). Wind Energy Technology. Wiley, England.
- Kimo, I. (2015). Anemómetros de hilo caliente - Todos los fabricantes industriales - Vídeos. Recuperado el 26 de enero de 2017, a partir de

<http://www.directindustry.es/fabricante-industrial/anemometro-hilo-caliente-82035.html>

Kuang, C. (2008). *Farming in the Sky* (Vol. 273).

Lu, L., Hongxing, Y., & Burnett, J. (2002). Optimisation of wind turbine blades.

Pinterest, W. (2014). Savonius Rotor. Recuperado el 26 de enero de 2017, a partir de <https://www.pinterest.com/explore/savonius-rotor-909239269696/>

Pinterest, W. (2015). Darrieus Wind Turbine. Recuperado el 26 de enero de 2017, a partir de <https://in.pinterest.com/explore/darrieus-wind-turbine/>

Ragheb, M. (2015, marzo 21). VERTICAL AXIS WIND TURBINES. Recuperado a partir de <http://www.ragheb.co/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Vertical%20Axis%20Wind%20Turbines.pdf>

ResearchGate. (2014). . Schematic views of helical Savonius wind turbine without end... - Figure 1 of 13. Recuperado el 26 de enero de 2017, a partir de [https://www.researchgate.net/figure/276841097\\_fig1\\_Fig-1-Schematic-views-of-helical-Savonius-wind-turbine-without-end-plates](https://www.researchgate.net/figure/276841097_fig1_Fig-1-Schematic-views-of-helical-Savonius-wind-turbine-without-end-plates)

Sensovant, S. (2016). Anemómetro de Cazoletas. Recuperado el 26 de enero de 2017, a partir de <http://sensovant.com/productos/meteorologia/viento/sensores-mecanicos/articulo/anemometro-de-cazoletas-o-molinete-PA2.html>

Shaun, M. (2016). Shaun Mechen PROPS. Recuperado el 26 de enero de 2017, a partir de <http://www.sh Shaunmechen.com/Props/Props.html>

Slootweg, J., Polinder, H., & Kling, W. (2011). Initialization of Wind Turbine Models in Power System Dynamic Simulation. Recuperado a partir de [www.ieeexplore.ieee.org](http://www.ieeexplore.ieee.org)

Fondear. (2012). Vientos alisios. Recuperado el 26 de enero de 2017, a partir de <http://www.fondear.org/infonautic/Mar/Meteo/Alisios/Alisios.htm>

## ANEXOS



Medición realizada con el anemómetro 19km/h



Medición realizada con el anemómetro 18.3km/h



Medición realizada con el anemómetro 27.7km/h



Medición realizada con el anemómetro 27.7km/h



Medición realizada con el anemómetro 18.3km/h



Construcción de los segmentos "S".



Acoplamiento de los segmentos "S" al eje de la turbina eólica.



Posicionamiento de los sistemas de rodamientos.



Laminado de los segmentos "S"



Centrado de la turbina eólica a los rodamientos.



Centrado de los ejes del motor y de la catalina del eje principal.



Acabado de la base del aerogenerador.



Posicionamiento del aerogenerador en el lugar establecido para su implementación.



Instalación de la estructura estabilizadora.



Instalación de la estructura estabilizadora.



Instalación de la estructura estabilizadora.



Instalación de los COB LEDs



Instalación de los COB LEDs



Prueba de los COB LEDs

## GLOSARIO

### AMPFLOW

Marca de motor que se uso en el proyecto., 27

### anemómetro

Instrumento para medir la velocidad del viento, 34, 35, 38, 51, 54, 76

### Biomasa

Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen, 29

### combustibles fósiles

son cuatro

petróleo, carbón, gas natural y gas licuado del petróleo. Se formaron hace millones de años, a partir de restos orgánicos de plantas y animales muertos., 20

### contactores

dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, XII, 72, 81

### dióxido de carbono, 20

El dióxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y vital para la vida en la Tierra. Este compuesto químico se encuentra en la naturaleza y está compuesto de un átomo de carbono unido con sendos enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno, 20

### EMT

diseñada especialmente para la conducción de cables eléctricos, 61

### energía renovables

Las energías de fuentes renovables contaminantes tienen el mismo problema que

la energía producida por combustibles fósiles

en la combustión emiten dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, y a menudo son aún más contaminantes puesto que la combustión no es tan limpia, emitiendo hollines y otras partículas, 20

### HAWT

Horizontal Axis Wind Turbine, XIV, 21, 41, 42

### helicoidal

Que tiene forma de Hélice, 27

### huella de carbono

se conoce como «la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por efecto directo o indirecto de un individuo, organización, evento o producto, 20

### Inversor

Un inversor es un aparato eléctrico capaz de transformar o invertir (de ahí el nombre) energía DC (baterías, celdas solares, etc) en energía AC, XII, XV, 71, 72

### LEDs COB

Modelo de LEDs implementados en este proyecto., XIII, 71, 73, 74, 81

### NS40

Modelo de la batería que se implemento, 78

### piñón

rueda de un mecanismo de cremallera o a la rueda más pequeña de un par de ruedas dentadas, ya sea en una transmisión directa por engranaje o indirecta a través de una cadena de transmisión o una correa de transmisión

dentada.1 También se denomina piñón tensor a la rueda dentada destinada a tensar una cadena o una correa dentada de una transmisión, 67

VAWT

Vertical Axis Wind Turbine, XII, XIV, XIX, 21, 22, 43, 46, 47, 50, 51, 52



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **FIGUEROA BRIONES, ANGEL GERARDO** con C.C: # 0923128656 autor del Trabajo de Titulación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA CON LUCES LED** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

**Guayaquil, 01 de marzo del 2017**

f. \_\_\_\_\_

Nombre: FIGUEROA BRIONES, ANGEL GERARDO

C.C: 0923128656



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CHING VALLE, JONATHAN XAVIER** con C.C: # 1205076001 autor del Trabajo de Titulación: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA CON LUCES LED** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICO CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 01 de marzo del 2017

f. \_\_\_\_\_

Nombre: CHING VALLE, JONATHAN XAVIER

C.C: 1205076001



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AEROGENERADOR DE EJE VERTICAL PARA UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN DE EMERGENCIA CON LUCES LED.		
<b>AUTOR(ES)</b>	ÁNGEL GERARDO FIGUEROA BRIONES JONATHAN XAVIER CHING VALLE		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Rafael Hidalgo A.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico Mecánico		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero Eléctrico Mecánico con Mención en Gestión Empresarial.		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	01 de marzo del 20017	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	91
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Diseño e Implementación de un Aerogenerador de Eje Vertical.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Eólica, energía renovable, VAWT, aerogenerador, sistema de emergencia.		

**RESUMEN/ABSTRACT** (150-250 palabras): With the recent rise in fossil fuels prices, the demand for clean energy sources, especially wind turbines have become a viable technology for power generation.

The main objective of this thesis is to design and construction of a vertical axis wind turbine which will charge a bank of batteries which will turn on a LED COB emergency lighting system in the Technical Faculty for Development.

As a first part, the mechanical design of the vertical axis wind turbine with SAVONIUS type rotor was carried out, considering all the efforts that this structure will be subjected by the wind and other natural phenomena, by taking experimental notes. After this process, the design of the electrical system was developed, which will supply the necessary energy for the COB LED lighting system.

Then we explain how the generation of electric energy occurs through the production of mechanical energy with the rotation of the wind turbine, highlighting the operation of the elements and equipment involved in the process.

In order to obtain the greatest benefit and a high efficiency in the operation of the wind turbine, a control system was designed for the automation of the turbine process, considering all the factors that can affect the start of the power supply to the luminaires.

**ADJUNTO PDF:**



SI



NO

<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-9-96842065 +593-9-78812430	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:ionxching@gmail.com">ionxching@gmail.com</a> <a href="mailto:angelger983@hotmail.com">angelger983@hotmail.com</a>
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE</b>	<b>Nombre:</b> Philco Asqui Luis Orlando	
	<b>Teléfono:</b> (04)2202935 ext: 2007	
	<b>E-mail:</b> luis.philco@cu.ucsg.edu.ec	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		