

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE
TURBINAS EÓLICAS EN LA SEDE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER.**

**DIANA MARITZA PINZÓN CARRILLO
WILLIAM RENÉ OSORIO MONROY**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2013**

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE
TURBINAS EÓLICAS EN LA SEDE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER.**

**DIANA MARITZA PINZÓN CARRILLO
WILLIAM RENÉ OSORIO MONROY**

**Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar
El título de Ingeniero Electricista**

**Director:
MIE. MANUEL JOSÉ ORTIZ RANGEL
Codirector:
Dr. GABRIEL ORDOÑEZ PLATA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2013**

DEDICATORIA

A Dios por fortalecer mi alma en los momentos difíciles, por guiarme a lo largo de la carrera y por también acompañarme en las alegrías de la vida.

A mi madre Martha, a mi padre Luis; por el apoyo incondicional que he recibido de su parte a lo largo de toda la vida, por estar siempre junto a mí y guiarme de la mejor manera para poder obtener este logro.

A mi familia por apoyarme en el transcurso de alcanzar esta gran meta, a mis primas y amigos por los consejos en los momentos apropiados y por su gran compañía y amor brindado.

Diana M. Pinzón Carrillo

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, quien me ha guiado de su mano a lo largo de la carrera, acompañándome siempre y esforzándose en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi madre y a mi padre, a ellos debo mi vida y fueron quienes me apoyaron y creyeron en mí en todo momento, brindándome todo su amor.

A mis hermanos por su paciencia y apoyo incondicional.

A la mujer de mi vida Yeni Paola, quien con su amor incondicional, me dio las fuerzas necesarias día a día para cumplir este gran logro.

A mi tío Leonardo y a su esposa por su gran ayuda y valiosos consejos a lo largo de toda mi vida.

A la profesora Luz Marina Rojas quien me instruyó desde niño y quien aún lo sigue haciendo.

A mi gran amigo Christian Ardila, una persona honesta e intachable, ejemplo digno de seguir.

William René Osorio Monroy

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente proyecto expresan los más sinceros agradecimientos:

A Dios por su infinita sabiduría y sus bendiciones al permitir la realización de este proyecto superando los obstáculos y dificultades presentados en el camino.

A Manuel José Ortiz Rangel, Ingeniero Electricista UIS, director del proyecto de grado, por su valiosa orientación, dedicación y colaboración durante el desarrollo del presente proyecto.

A Gabriel Ordoñez Plata, Ingeniero Electricista UIS y codirector del proyecto, por su interés, paciencia e incondicional apoyo para llevar a cabo la culminación de este proyecto.

A la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones por los conocimientos brindados durante la carrera.

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

BRICS: Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica.

CDMB: Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

ERC: Energías Renovables Convencionales.

ERNC: Energías Renovables No Convencionales.

EU 27: European Union (desde 1 de enero de 2007).

GISEL: Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica.

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

OECD: Organization for Economic Co-operation and Development.

SIGAM: Sistemas de Gestión Ambiental Municipal.

UPME: Unidad de Planeación Minero Energética.

URE: Uso Racional y Eficiente de la Energía.

WPD: Wind Power Density.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	23
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	24
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.2 JUSTIFICACIÓN	25
1.3 IMPACTO ESPERADO	26
1.4 USUARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS POTENCIALES.....	26
1.5 ESTRUCTURA DEL LIBRO	26
2. MARCO TEÓRICO	28
2.1 DEFINICIONES.....	30
2.2 FUENTES DE ENERGÍA.....	32
2.2.1 Fuentes de energía renovables	32
2.2.2 Fuentes de energía no renovables	32
2.3 ENERGÍA EÓLICA	33
2.3.1 El viento	33
2.3.2 Teoría de Betz	38
2.4 SISTEMAS EÓLICOS.....	39
2.5 LAS MÁQUINAS EÓLICAS	40
2.5.1 Componentes de un aerogenerador	40
2.6 TIPOS DE MÁQUINAS EÓLICAS	44
2.6.1 Máquinas de eje vertical	45
2.6.2 Máquinas de eje horizontal	46
2.7 RECURSO EÓLICO	48
2.7.1 A nivel mundial	49

2.7.2	En Colombia.....	52
3.	DESARROLLO DEL PROYECTO	54
3.1	SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	55
3.2	SITUACIÓN TOPOGRÁFICA.....	56
3.3	SITUACIÓN CLIMÁTICA.....	58
3.4	SITUACIÓN SOCIAL.....	59
4.	ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS.....	60
4.1	ANÁLISIS DEL VIENTO.....	60
4.2	DIRECCIÓN DEL VIENTO	67
4.2.1	Edificio de Ingeniería Química	68
4.2.2	Edificio de Ingeniería Mecánica	69
4.2.3	Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones..	71
4.2.4	Estudio de datos y resultados.....	73
4.3	DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE VELOCIDAD.....	74
4.3.1	Edificio de Ingeniería Química	74
4.3.2	Edificio de Ingeniería Mecánica	80
4.3.3	Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.....	83
4.3.4	Estudio de datos y resultados.....	88
4.4	VARIACIONES Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL VIENTO.....	88
4.4.1	Edificio de Ingeniería Química	89
4.4.2	Edificio de Ingeniería Mecánica	90
4.4.3	Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones..	92
4.4.4	Estudio de datos y resultados.....	93
4.5	DENSIDAD DE POTENCIA.....	94
4.5.1	Edificio de Ingeniería Química	94

4.5.2 Edificio de Ingeniería Mecánica	95
4.5.3 Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones..	95
4.5.4 Estudio de datos y resultados	95
4.6 CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO A 30 Y 40 METROS DE ALTURA	96
4.6.1 Edificio de ingeniería Química	97
4.6.2 Edificio de ingeniería Mecánica	101
4.6.3 Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones	103
4.6.4 Análisis de datos y resultados	104
4.7 ALTERNATIVAS DE UBICACIONES PARA LA INSTALACIÓN	104
4.7.1 Selección del lugar	106
4.8 ALTURA FINAL DE LA TORRE EÓLICA.....	112
4.9 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA ENTREGADA POR LOS AEROGENERADORES.	112
5. PRESUPUESTO.....	118
CONCLUSIONES.....	120
RECOMENDACIONES.....	123
REFERENCIAS	124
ANEXOS.....	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escala de Beaufort.....	36
Tabla 2: Características de la estación meteorológica del Edificio de Ingeniería Química.	64
Tabla 3. Datos de la señal de salida de la estación meteorológica del Edificio de Ingeniería Química.....	65
Tabla 4. Características de la estación meteorológica del Edificio de Ingeniería Mecánica	66
Tabla 5. Características de la estación meteorológica del Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones	67
Tabla 6. Valores de α para diferentes tipos de terrenos.	97
Tabla 7. Velocidad media mensual del viento para las diferentes alturas.....	98
Tabla 8. Tabla de las diferentes densidades de potencia de acuerdo con la altura – periodo enero de 2004 a octubre de 2006.	99
Tabla 9. Calculo de potencia generada y factor de capacidad para aerogeneradores.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes más importantes de una turbina Eólica	41
Figura 2. Tipos de máquinas eólicas	45
Figura 3. Capacidad mundial instalada de potencia eólica, 1996 – 2011.	50
Figura 4. Capacidad de energías renovables ¹ , EU 27, BRICS, y el top siete de países, 2011.	51
Figura 5. Incremento de la capacidad instalada durante el año 2011.....	52
Figura 6. Ubicación Geográfica de La Universidad Industrial de Santander.....	56
Figura 7. a) Vista Norte. b) Vista Oriental. c) Vista Sur. d) Vista Occidental. e) Vista central de la universidad Industrial de Santander.	57
Figura 8. Ubicación estaciones meteorológicas en el campus universitario.	63
Figura 9. Rosa de los vientos para Frecuencia- General.....	68
Figura 10. Rosa de viento para Velocidad del Viento- General.	69
Figura 11. Rosa de los vientos para Frecuencia- General.....	70
Figura 12. Velocidad del viento.....	71
Figura 13. Rosa de los vientos para frecuencia	72
Figura 14. Velocidad del viento.....	73
Figura 15. Velocidad media de viento mensual, periodo – Enero de 2004 hasta Junio de 2004 y Diciembre de 2004 - edificio de Ingeniería Química.	75
Figura 16. Velocidad media de viento mensual, periodo - Enero de 2005 hasta Diciembre de 2005 - edificio de Ingeniería Química.	76
Figura 17. Velocidad media de viento mensual, periodo - Enero de 2006 hasta Octubre de 2006 - edificio de Ingeniería Química.....	77
Figura 18. Velocidad media de viento mensual, periodo - Enero de 2004 hasta Octubre de 2006 - edificio de Ingeniería Química.....	78
Figura 19. Distribución de Weibull, periodo - Enero de 2004 hasta Octubre de 2006 - edificio de Ingeniería Química.	79
Figura 20. Velocidad media mensual de viento, edificio de Ingeniería Mecánica. ..	81

Figura 21. Distribución de Weibull, periodo - Noviembre de 2011 a Marzo de 2012 - edificio de Ingeniería Mecánica.	83
Figura 22. Velocidad media mensual de viento, periodo -Agosto de 2010 hasta Diciembre de 2010- edificio de Ingeniería Eléctrica.	84
Figura 23. Velocidad media mensual de viento, periodo -Enero de 2011 hasta Agosto de 2011- edificio de Ingeniería Eléctrica.	85
Figura 24. Velocidad media mensual de viento, periodo -Agosto de 2010 hasta Agosto de 2011- edificio de Ingeniería Eléctrica.	86
Figura 25. Distribución de Weibull, periodo - Septiembre de 2010 hasta Agosto de 2011 - edificio de Ingeniería Eléctrica.	87
Figura 26. Velocidad del viento promedio diaria, periodo enero de 2004 hasta octubre de 2006.	89
Figura 27. Velocidad del viento promedio diaria, periodo noviembre de 2011 hasta marzo de 2012.	91
Figura 28. Velocidad del viento promedio diaria, periodo agosto de 2010 hasta agosto de 2011.	92
Figura 29. Comparación de la velocidad media del viento.	99
Figura 30. Comparación de la velocidad media del viento -- periodo enero de 2004 a octubre de 2006.	101
Figura 31. Comparación de la velocidad media del viento - periodo de noviembre de 2011 a marzo de 2012.	102
Figura 32. Comparación de la densidad de potencia para las diferentes alturas – periodo noviembre de 2011 a marzo de 2012.	102
Figura 33. Comparación de la velocidad media del viento – periodo agosto de 2010 a agosto de 2011.	103
Figura 34. Comparación de la densidad de potencia para las diferentes alturas – periodo agosto de 2010 a agosto de 2011.	104
Figura 35. Lugares de posible instalación.	106
Figura 36. Emplazamiento- opción 2, vista de la zona nororiental de la universidad, en dirección sur.	107

Figura 37. Emplazamiento- opción 2, vista de la zona nororiental de la universidad, en dirección noroeste.....	108
Figura 38. Velocidad media mensual del viento- estación meteorológica del IDEAM- UIS.	109
Figura 39. Velocidad media horaria del viento- estación meteorológica del IDEAM- UIS.....	109
Figura 40. Comparación de los datos de velocidad media horaria entre la estación meteorológica de la CDMB y el IDEAM.	110
Figura 41. Comparación de la velocidad media mensual de las estaciones meteorológicas del IDEAM (datos tomados en el año de 1996) y la CDMB (datos tomados en el periodo 2004- 2006).	111
Figura 42. Relación de velocidad de aspa -velocidad de viento contra coeficiente de potencia (Cp).	113

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. GRÁFICOS DE FRECUENCIA Y VELOCIDAD DE VIENTO PARA CADA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.	127
ANEXO B. GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE VELOCIDAD DE VIENTO.....	142
ANEXO C. GRÁFICOS DE VARIACIONES MENSUALES DEL VIENTO MEDIA POR HORA	151
ANEXO D. TABLAS DE MÁXIMA VELOCIDAD DE VIENTO – RESUMEN ESTADÍSTICO Y DATOS PARA LA ROSA DE VIENTOS USADOS PARA CADA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.	161
ANEXO E. TABLAS DE VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO MENSUAL Y VALORES DE k Y c (DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL) PARA LAS DIFERENTES ESTACIONES METEOROLÓGICAS.	166
ANEXO F. TABLAS RESUMEN DE CANTIDAD DE HORAS DE OCURRENCIA DE VELOCIDADES PROMEDIO Y TABLAS PARA LA DENSIDAD DE POTENCIA.	171
ANEXO G. TABLAS DE VELOCIDAD MENSUAL DEL VIENTO Y TABLAS PARA LA DENSIDAD DE POTENCIA DE ACUERDO CON LA ALTURA.	175
ANEXO H. CÁLCULOS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS DE VIENTO TOMADOS POR LAS DIFERENTES ESTACIONES METEOROLÓGICAS.	178
ANEXO I. DECRETO DE LEY.....	182
ANEXO J. CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL AIRE, SEGÚN EL CIPM.	188
ANEXO K. FICHA TÉCNICA- AEROGENERADORES.....	190
ANEXO L. CÁLCULO DE POTENCIA PARA LOS AEROGENERADORES.	200

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TURBINAS EÓLICAS EN LA SEDE PRINCIPAL DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER¹.

AUTORES: DIANA MARITZA PINZÓN CARRILLO²
WILLIAM RENÉ OSORIO MONROY²

PALABRAS CLAVES: Energía eólica, generación eólica, energías alternativas, generador, emplazamiento, estudio del recurso eólico, velocidad del viento.

El cambio climático que experimenta el planeta se encuentra directamente relacionado con el abuso de las fuentes de energía no renovables, por tanto se hace necesario pensar en el uso de fuentes energéticas que ayuden a disminuir el impacto medioambiental. En la Universidad Industrial de Santander se realizan estudios para determinar la viabilidad de implementar alguna de las Tecnologías de Generación de Energía limpia. En el presente trabajo de grado se describe el estudio elaborado para la implementación de generación de energía eléctrica mediante turbinas eólicas.

Se presenta la recopilación y análisis de datos meteorológicos (velocidad y dirección del viento, temperatura, presión y humedad relativa) de las estaciones ubicadas en el interior del Campus Universitario los cuales fueron facilitados por la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, la Escuela de Ingeniería Mecánica (Incorporó recientemente una estación meteorológica en su planta física) y la CDMB (que durante algunos años tuvo una estación meteorológica en el Edificio de Ingeniería Química). Este documento presenta los resultados de factibilidad del proyecto ya que se presentan los análisis de datos, resultados de estos, las mejores opciones de emplazamiento y de aerogeneradores, junto con un presupuesto general aproximado de la instalación de turbinas eólicas. Por último se han considerado algunos aspectos sociales y culturales del entorno con el propósito de contribuir a la preservación de las condiciones que garanticen la vida y el futuro de las especies.

*Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director MIE. José Manuel Ortiz Rangel. Codirector Dr. Gabriel Ordoñez Plata.

SUMMARY

TITLE: EVALUATION OF THE POTENTIAL OF ELECTRIC POWER BY MEANS OF EOLIC TURBINES IN THE MAIN HEADQUARTERS OF THE INDUSTRIAL UNIVERSITY DE SANTANDER.

AUTHORS: DIANA MARITZA PINZON CARRILLO
WILLIAM RENÉ OSORIO MONROY

KEY WORDS: Wind power, wind generation, alternative energy, generator, location, wind resource study, wind speed.

The climatic change that experiences our planet for these days it becomes necessary to think of the use of energy sources that you/they help to diminish the environmental impact. In the Industrial University of Santander they are being carried out some studies to determine the viability of implementing some of the Technologies of Generation of clean Energy for that that presently work of grade the study it is described elaborated for the implementation of electric power generation by means of wind turbines.

It is presented the summary and analysis of meteorological data (speed and address of the wind, temperature, pressure and relative humidity) of the stations located inside the University Campus which were facilitated by the School of Electric, Electronic Engineering and Telecommunications, the School of Mechanics it Incorporated a meteorological station recently in its physical plant and the Corporation in Defense of the Plateau of Bucaramanga (CDMB) During some years he/she had a station in the Building of Chemistry. This paper presents the results of the feasibility of the project and presented the data analysis, results of these, the best alternative locations, wind turbines, along with an estimate of the wind turbines.

Finally, we have considered social and cultural aspects of the environment with the aim of contributing to the preservation of the conditions that guarantee the life and future of the species³.

*Degree Work

** Department of Physics- Mechanical Engineerings. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Director of MIE. José Manuel Ortiz Rangel. Dr. Gabriel Ordoñez Plata.

INTRODUCCIÓN

El consumo mundial de energía se distribuye entre el petróleo, el carbón, el gas natural y en menor medida la energía nuclear y las fuentes renovables como el sol y el viento. Las fuentes de energía a base de combustibles fósiles causan un gran deterioro al medio ambiente y su uso intensivo ha originado problemas como calentamiento global, el debilitamiento de la capa de ozono y el quebranto de los servicios que proveen los ecosistemas.

Teniendo en cuenta el crecimiento poblacional, la producción de bienes y servicios, la demanda de vivienda y de transporte, para el año 2050 se necesitará el doble de la energía que utilizamos hoy, para entonces las reservas de petróleo y de gas natural estarán bastante reducidas y el carbón alcanzará para abastecer la demanda durante menos de dos siglos. Tarde o temprano se debe buscar la dependencia de energías renovables como la solar, la eólica, la hidráulica y la geotérmica entre otras, todas limpias e inagotables como el sol y el viento, las cuales en la actualidad solo representan solo representan un 16,7% de la generación [1].

La energía eólica se ha utilizado desde la antigüedad para impulsar las embarcaciones a vela, en los molinos para procesar granos y para extraer agua de los pozos subterráneos. Hoy en día, la tecnología y los nuevos materiales, así como el diseño de sistemas eólicos más aerodinámicos y eficientes propician la construcción de centrales eoloeléctricas.

Durante las últimas décadas, la humanidad ha adquirido conciencia de la necesidad de preservar los recursos naturales no renovables. Como parte de la estrategia de generar una conciencia colectiva frente al uso desmedido de dichos recursos, se han implementado campañas educativas dirigidas a los grandes y los pequeños consumidores de energía. En el contexto legal Colombiano se han

expedido leyes y decretos encaminados hacia el Uso Racional y Eficiente de la Energía (Ver anexo I) como parte del aporte individual hacia la dinámica global encaminada a resolver el problema ambiental y a evitar que se mantenga la afectación antropogénica sobre los ecosistemas del planeta.

Este trabajo de grado se desarrolla dentro del contexto de la línea de investigación en energías alternativas de GISEL⁴ y su punto de partida es el estudio de los vientos con miras a identificar tecnologías de producción de energía a base de aerogeneradores. Incluye la identificación de un emplazamiento y una altura de montaje adecuada para instalar dicha solución dentro del campus principal de la UIS. También se pretende cuantificar los costos de inversión en este tipo de tecnología. Adicionalmente los resultados del trabajo de investigación pueden ser un referente para la aplicación de metodologías en proyectos futuros donde se intenten adoptar alternativas tecnológicas similares que permitan la reducción del impacto ambiental.

⁴ El grupo GISEL de la E3T UIS está reconocido desde el año 2000 por Colciencias en el área de investigación de la energía. Uno de sus propósitos importantes es aportar al desarrollo nacional con proyectos de contenido innovador y tecnológico para apalancar proyectos en el sector eléctrico nacional. Cuenta con siete áreas de investigación entre las cuales se encuentra el Uso Racional y Eficiente de la Energía y Energías Alternativas.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar los potenciales de generación de energía eléctrica mediante turbinas eólicas estableciendo los puntos de mayor incidencia de corrientes de aire en la sede principal de La Universidad Industrial de Santander.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para el cumplimiento del objetivo general del proyecto se requiere lo siguiente:

- Recopilar la información existente sobre incidencia de corrientes de aire en la meseta de Bucaramanga.
- Establecer las áreas aptas para la implementación de sistemas para la generación de energía eléctrica mediante turbinas eólicas en el campus universitario.
- Proponer la opción más adecuada de turbinas en las áreas señaladas teniendo como base los estudios realizados.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA^{1.}

Ante la crítica situación que enfrenta el planeta relacionada al calentamiento global, se advierte la necesidad de buscar nuevas alternativas para garantizar el abastecimiento energético. Una de estas alternativas de generación es mediante el uso de turbinas eólicas o aerogeneradores, los cuales producen energía de manera limpia a partir de las corrientes de aire y durante su operación no producen gases o residuos contaminantes.

Actualmente se han realizado algunos estudios que han permitido cuantificar el costo - beneficio que se obtiene al implementar este tipo de tecnologías. A nivel nacional, la exploración de energías alternativas en la cuenca Magdalena - Cauca es uno de los estudios que han sido liderados por Las Empresas Públicas de Medellín E.S.P, dando como resultado para finales del año 2006 el parque eólico piloto JEPIRACHI, ubicado en la Alta Guajira y con capacidad de entregar 24.7MW [2].

La utilización de turbinas eólicas es una de las formas más limpias que existen para generar energía y especialmente la eléctrica, pero no están exentas de contribuir a la contaminación del medio ambiente aun cuando sea de manera indirecta debido a que los procesos en la fabricación de muchas de las partes que conforman los aerogeneradores emiten contaminantes y gases tóxicos hacia la atmosfera y desechos que no se reutilizan. Un ejemplo claro es el proceso de fabricación de materiales para los pedestales, las palas, los multiplicadores de velocidad, los generadores, los aislantes para los conductores, la fabricación de pinturas y los recubrimientos especiales. Estos niveles de contaminación son muy inferiores en comparación con los generados que funcionan a base de fuentes no renovables de energía.

La implementación de este tipo de tecnología es favorable por la reducción de los costos del consumo energético, además favorecen la sensibilización hacia el URE y la adopción de parámetros culturales con alto sentido de preservación de la vida, la reducción del impacto ambiental y para propiciar acciones de cambio en las próximas generaciones.

Debido al incremento de la comunidad estudiantil y a la infraestructura de los ambientes educativos de la UIS surge una problemática derivada del incremento del consumo energético. La implementación de diferentes tipos de tecnologías para la generación de energía limpia incide de manera importante en la reducción de los costos energéticos a mediano y largo plazo.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo tecnológico se ha incrementado con el paso del tiempo, de igual manera el consumo energético. Esto ha llevado a la humanidad a adquirir malos hábitos, un desinterés por conservar o cuidar el medio que los rodea, creyendo que el impacto individual sobre el planeta es pequeño sin medir las consecuencias a nivel masivo, ocasionando daños en la capa de ozono, la contaminación del aire, calentamiento global, entre otros. Actualmente persiste la preocupación por el gran impacto medioambiental por causas antropogénicas, sin embargo en algunas ocasiones habiendo adquirido conciencia de la situación en la que estamos poniendo al planeta y a nosotros mismos, mantenemos parámetros culturales que conllevan a continuar con la gran demanda energética y la producción de la misma a través de tecnologías no renovables como combustibles fósiles (petróleo), carbón, gas natural entre otras que producen contaminación a nuestro planeta.

Por tal preocupación desde “La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente” de Estocolmo en el año de 1972 hasta la “Conferencia de Cambio Climático (Bali 2007) se ha advertido que el modelo de crecimiento económico de los países industrializados, el mismo que están adoptando los

países en vía de desarrollo, logra un gran progreso económico, pero a costa de crear trastornos ambientales con consecuencias nefastas y efectos a largo plazo impredecibles. Por lo tanto en los últimos años se han comenzado a implementar diferentes tipos de tecnologías alternativas entre las cuales se encuentra la generación de energía eléctrica mediante turbinas eólicas.

1.3 IMPACTO ESPERADO

Este proyecto busca caracterizar el sistema de vientos y aprovechar así el potencial eólico presente en la sede principal de la Universidad Industrial de Santander, utilizando la implementación de turbinas eólicas las cuales serán instaladas en las áreas con mayor aprovechamiento del recurso, teniendo en cuenta la factibilidad.

1.4 USUARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS POTENCIALES

En caso de ser ejecutado el proyecto, contribuirá a toda la comunidad universitaria, en cuestiones de aprovechamiento de la energía a partir del viento, así como de incentivar en cada uno de los estudiantes, docentes y cuerpo administrativo, el sentido de pertenencia con el medio ambiente, orientado a desarrollar una cultura consciente del uso racional y eficiente de los recursos energéticos en nuestro planeta. En caso de no ser viable, servirá de modelo para la implementación de esta tecnología en zonas aisladas, para electrificación rural o sitios con mejores características de viento, para seguir de esta forma contribuyendo con la URE y el mejoramiento de las condiciones vitales del planeta.

1.5 ESTRUCTURA DEL LIBRO

El libro se estructura de la siguiente manera: En el capítulo dos se encuentran definiciones claves y toda la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo del proyecto, aclarando algunos conceptos importantes.

En el capítulo tres, se realiza una descripción de la metodología utilizada para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto.

En el capítulo cuatro, se encuentra el análisis y los resultados en base al registro de datos, recopilados de las diferentes estaciones meteorológicas dentro de la universidad.

En el capítulo cinco, se puede encontrar un costo general aproximado de la instalación de todo el proyecto.

Al finalizar el libro, se presentan las conclusiones y las recomendaciones del proyecto.

2. MARCO TEÓRICO

La necesidad de aprovechar el movimiento atmosférico de masas de aire, producido por las variaciones de la presión atmosférica, permitieron la introducción de los sistemas eólicos como fuente alternativa de generación de energía [3].

Los sistemas eólicos terrestres son debidos al movimiento atmosférico de masas de aire como resultado de las variaciones de la presión atmosférica, originadas a su vez, por diferencias de calentamiento solar de las diferentes paredes de la superficie de la Tierra.

Desde que el ser humano empezó a utilizar los recursos que se encontraban en su entorno para transformarlos en energía, se realizó de una forma perjudicial que en su momento no sería tan notable, pero que ignorando o haciendo caso omiso a esas leves consecuencias, en masa generarían un gran impacto medioambiental a nivel mundial acabando con esos recursos y trayendo consigo el calentamiento global que lastimosamente deteriora las condiciones para la vida en La Tierra. La razón de esto es que en los últimos cien años el hombre se ha hecho necesario de energía y tecnología, los avances tecnológicos han sido gigantescos y constantes, se han desarrollado nuevas tecnologías para fabricar y conservar alimentos, crear medicinas y materiales como los plásticos y el acero, inventos como los automóviles, aviones, televisión, las computadoras incluyendo el gran avance de la comunicación satelital cambiando la forma de vida de millones de personas, la historia del hombre es también la historia de la tecnología, pero ha venido agotando esos recursos con los que empezó y no ha utilizado otras fuentes existentes que no alteren en gran medida el medio ambiente.

Actualmente el hombre ha acabado con el hábitat y amenaza los que quedan con la explotación y uso de combustibles fósiles, con la construcción de represas y acabando con los ecosistemas que se encuentran presentes en su camino. La transformación de energía eólica en energía mecánica ha sido históricamente aprovechada, pero su uso para la generación de energía eléctrica es más reciente, existiendo aplicaciones de mayor escala desde mediados de la década del 70's en respuesta a la crisis del petróleo y a los impactos ambientales derivados del uso de combustibles fósiles.

La energía eólica se considera una forma indirecta de energía solar, puesto que el sol, al calentar las masas de aire, produce un incremento de la presión atmosférica y con ello el desplazamiento de estas masas a zonas de menor presión. Así se da origen a los vientos como un resultado de este movimiento, cuya energía cinética puede transformarse en energía útil, tanto mecánica como eléctrica.

Desde los principios de la electricidad generada por viento se han fabricado pequeñas turbinas para producir electricidad en viviendas, parques, comunidades remotas y para cargar baterías en botes. En los últimos años se está usando también para el suministro de energía en antenas de los teléfonos móviles y a las cabinas telefónicas de localizaciones remotas. El suministro eléctrico mediante turbinas eólicas en comunidades locales ha ido ganando desarrollo en los últimos años, Dinamarca ha sido un buen ejemplo de cómo diferentes integrantes de una comunidad pueden unir recursos y adquirir una o varias turbinas eólicas y así la comunidad se beneficia de la venta de esta energía y hace uso de ella para su propio beneficio. De este tipo de sociedad existen varias en Holanda, Suecia y Alemania, en Dinamarca el 38% de las turbinas eólicas funcionan así. Una forma de mejorar el aprovechamiento del viento para extraer energía útil es a partir de diseños aerodinámicos para edificios y distintas edificaciones de tal forma que canalicen el aire haciendo incrementar su velocidad antes de que pase por el

aerogenerador; esto con el fin de elevar el número de revoluciones y así poder extraer de la máquina una mayor potencia de generación.

2.1 DEFINICIONES

- **Energía de la biomasa:** La biomasa, desde el punto de vista energético, se considera como el conjunto de la materia orgánica, de origen vegetal o animal, que es susceptible de ser utilizada con finalidades energéticas. Incluye también los materiales procedentes de la transformación natural o artificial de la materia orgánica.
- **Barlovento:** Parte de donde viene el viento, con respecto a un punto o lugar determinado.
- **Energía Eólica:** Es la energía que posee el viento, es limpia, renovable no convencional y clasificada como primaria por su disponibilidad en forma directa. Este recurso da origen a una fuente energética secundaria tan importante como lo es la electricidad.
- **Energía Fósil:** Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón) o gaseosa (gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años. En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar. En ambos casos la materia orgánica se descompuso parcialmente por falta de oxígeno, de forma que quedaron almacenadas moléculas con enlaces de alta energía.
- **Energía geotérmica:** Parte del calor interno de la Tierra (5.000°C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar.

- **Energía gravitacional:** La atracción del Sol y la Luna que origina las mareas puede ser aprovechada para generar electricidad.
- **Energía hidráulica:** La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que arrastran un generador eléctrico.
- **Energía nuclear:** El núcleo atómico de elementos pesados como el uranio, puede ser desintegrado (fisión nuclear) y liberar energía radiante y cinética. Las centrales termonucleares aprovechan esta energía para producir electricidad mediante turbinas de vapor de agua.
- **Energía solar:** La captación de la radiación solar sirve tanto para transformar la energía solar en calor (térmica), como para generar electricidad (fotovoltaica).
- **Sistemas eólicos a mediana escala:** Utilizados para abastecer pequeños poblados, que requieren sistemas de respaldo por medio de generadores Diesel. Se usan para la obtención de potencias superiores a 100 [kW] e inferiores a 1 [MW].
- **Sistemas eólicos a pequeña escala:** Se usan para abastecer pequeñas comunidades, que constan de una turbina eólica, un generador Diesel de respaldo y un banco de baterías. Potencias superiores a 1 [kW] e inferiores a 100 [kW].
- **Sistemas eólicos a gran escala:** Conectados a la red eléctrica, también denominados parques eólicos. Se usan para la obtención de potencias superiores a 1 [MW].
- **Sistemas individuales por vivienda:** Este tipo de sistemas son los que constan básicamente de una turbina eólica y baterías para el almacenamiento de energía. Potencias inferiores a 1 [kW].

2.2 FUENTES DE ENERGÍA

Las Fuentes de energía son los recursos existentes en la naturaleza de los que la humanidad puede obtener energía utilizable en sus actividades, es decir que se pueda consumir y se presentan como renovables y no renovables.

2.2.1 Fuentes de energía renovables

Las fuentes de energía renovables son aquellas que tras ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural o artificial. Algunas de estas fuentes renovables están sometidas a ciclos que se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza.

Existen varias fuentes de energía renovables, como son:

- Energía mareomotriz.
- Energía hidráulica.
- Energía eólica.
- Energía solar.
- Energía de la biomasa.

2.2.2. Fuentes de energía no renovables

Las fuentes de energía no renovables son aquellas que se encuentran de forma limitada en el planeta y cuya velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración. Existen varias fuentes de energía no renovables, como son:

- Los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural).
- La energía nuclear (fisión y fusión nuclear).

2.3 ENERGÍA EÓLICA

El término eólico proviene del latín Aeolicus, perteneciente a Eolo, dios del viento en la mitología griega. Esta tecnología se ha usado desde tiempos remotos para mover barcos impulsados por velas o hacer funcionar el mecanismo de molinos para diferentes actividades. La energía eólica es la obtenida a partir de las corrientes de viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transmutada en otras formas útiles para las actividades humanas.

Además es un recurso abundante, renovable y limpio, ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde, su principal inconveniente es la intermitencia del viento.

Entre las ventajas que presenta esta fuente energética cabe destacar que es inagotable a escala humana, gratuita y no daña el medio ambiente, pero a la vez tiene desventajas: es dispersa y aleatoria dada su dependencia de las condiciones climáticas.

2.3.1 El viento

El viento se forma por toda masa de aire en movimiento; alrededor del 2% de la energía solar se transforma en viento debido al desigual calentamiento de la superficie terrestre por lo que se puede decir que la energía eólica es una forma indirecta de esta [4].

El viento es determinado por una dirección y una velocidad, tratándose frecuentemente como variables independientes. Estas son de vital importancia al

realizar un estudio de viabilidad para trabajar con turbinas eólicas en cualquiera que sea el lugar establecido.

2.3.1.1 Dirección del viento

Para efectos meteorológicos, se define como la dirección desde la cual sopla el viento, se puede decir que en general, los desplazamientos verticales del aire son pocos comparados con los desplazamientos horizontales, por lo que se puede considerar que la dirección del desplazamiento del viento es sensiblemente horizontal, determinándose mediante el ángulo que conforma respecto a una dirección fija, que es la del Norte geográfico. Por lo que se tomará la dirección del viento como horizontal. En las estaciones climatológicas se observa la dirección del viento mediante una rosa de vientos de dieciséis (16) direcciones.

2.3.1.2 Velocidad del viento.

Fija el desplazamiento del aire en un tiempo determinado. Las velocidades del viento ayudan a establecer el tipo de máquina eólica que se debe usar ya que en estas se distinguen tres velocidades:

- **Velocidad de conexión:** Es la velocidad del viento por sobre la cual se comienza a generar energía.
- **Velocidad nominal:** Es la velocidad del viento con la cual la máquina eólica alcanza su potencia nominal.
- **Velocidad de desconexión:** Es la velocidad del viento por sobre la cual la máquina eólica deja de funcionar.

Las velocidades del viento mínimas para usar energía eólica son de 3 a 4 [m/s], aunque el uso de dispositivos especiales puede mantener una potencia constante

a velocidades comprendidas entre 2 y 12 [m/s]. Cuando las velocidades alcanzan valores sobre los 18 a 20 [m/s] se interrumpe el funcionamiento.

Las condiciones generales de los vientos se ven afectadas por los ambientes orográficos (relieves del terreno) y climáticos de un lugar en particular. La velocidad y constancia del viento se ve afectada por estos factores haciéndola aleatoria, por lo que se debe considerar al momento de realizar un proyecto para saber con certeza la calidad y cantidad del recurso energético con el que se cuenta. Como el recurso eólico depende de la variación del tiempo y de la localización es importante tener presente las siguientes recomendaciones:

- Localizar sitios donde sea posible determinar el recurso eólico disponible en forma práctica y concreta.
- Utilizar la máquina eólica en conjunto con un sistema de almacenamiento, como lo es un banco de baterías.
- Interconectar la central eólica con otra planta de generación. Por ejemplo: sistema Diesel o red de distribución.

Es importante mencionar que cuando no se tienen los instrumentos necesarios para poder medir la velocidad del viento, la forma más sencilla de estimarla es por medio de la observación directa de este, en la superficie terrestre; esto se hace mediante el uso de la escala de Beaufort que sirve para la evaluación de velocidad basándose en las características observadas, por esto a continuación se muestra en resumen la tabla de esta escala.

Tabla 1. Escala de Beaufort.

ESCALA	VELOCIDAD PROMEDIO EN [m/s]	CARACTERÍSTICAS
0	0.1	CALMA: El humo sube verticalmente
1	0.9	VENTOLINA: Se muestra por la dirección del humo. Las veletas no alcanzan a moverse
2	2.4	BRISA MUY DÉBIL: Se siente el viento en la cara, las hojas de los árboles se mueven; las veletas giran lentamente
3	4.4	BRISA DÉBIL: Las hojas y las ramas pequeñas se mueven contantemente; el viento despliega las banderas.
4	6.7	BRISA MODERADA: Se levantan el polvo y los papeles del suelo; se mueven las ramas pequeñas de los árboles.
5	9.4	BRISA FRESCA: Los arboles pequeños se mueven; se forman olas en las aguas quietas.
6	12.3	BRISA FUERTE: Se mueven las ramas grandes de los arboles; los paraguas se mantienen con dificultad.
7	15.5	VIENTO FUERTE: Los arboles grandes se mueven; se camina con dificultad contra el viento.
8	19	VIENTO DURO: Se rompen las ramas de los arboles; no se puede caminar en contra del viento.
9	22.6	VIENTO MUY DURO: El viento arranca tejados y chimeneas; se caen arbustos; ocurren daños fuertes en las plantaciones.
10	26.4	TEMPORAL HURACANADO: Raro en los continentes; arranca los árboles y las viviendas sufren daños muy importantes.
11	30.5	BORRASCA
12	32.7	HURACAN

2.3.1.3 Energía aprovechable del viento

Para encontrar el mejor emplazamiento para una máquina eólica que cuente con las condiciones ideales para un buen aprovechamiento de la energía del viento, es esencial entender la variación de la potencia con la velocidad del viento.

Considerando esto se tiene la siguiente expresión para obtener la potencia de viento sin perturbar con una velocidad v:

$$P_o = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (1)$$

Donde:

P_o : potencia del viento sin perturbar [W].

ρ : densidad del aire [kg/m³].

A : área barrida por el rotor [m²].

v : velocidad del viento [m/s].

Los valores de densidad de aire pueden variar en un 10% anual, dependiendo de las estaciones del año. A medida que se incrementa el diámetro del rotor de la maquina se capta más viento, aumentando así la potencia útil. La potencia está influenciada directamente por el área de barrido y por la velocidad del viento elevada al cubo, en consecuencia, cualquier alteración de este factor afecta directamente a la potencia. La potencia capturada por un aerogenerador no alcanza el 100%, el rendimiento de trabajo, indica con qué eficiencia el aerogenerador convierte la energía del viento en electricidad. Se expresa de la siguiente forma:

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3} \quad (2)$$

Donde:

C_p : Coeficiente de potencia (adimensional)

P : potencia realmente capturada [W].

ρ: densidad del aire

A.....: Área de barrido

v.....: velocidad de viento

El coeficiente de potencia se relaciona directamente con las condiciones de trabajo del aerogenerador, impidiendo su constancia.

2.3.2 Teoría de Betz

Los criterios básicos de las turbinas eólicas fueron estudiados por Betz mediante los fundamentos de la teoría de la aerodinámica. Planteó la fórmula que enuncia el máximo potencial que puede ser extraído de una corriente de aire, conocida como “Fórmula de Betz”:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{8}{27} \times \rho \times A \times v^3 \quad (3)$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$: Es la potencia máxima a extraer [W].

Con esta expresión se puede realizar la siguiente relación sin perturbar la potencia útil del viento, utilizando las ecuaciones (1) y (3):

$$\frac{P_{m\acute{a}x}}{P_0} = \frac{\frac{8}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3} = \frac{16}{27} = 59.3\% = C_P \quad (4)$$

Esta relación es conocida como límite de Betz y demuestra que un sistema eólico no puede capturar más del 60% de la potencia contenida en el viento. En la realidad existen otras pérdidas que dependen del tipo de rotación y oscilan entre el 30 y 45% del valor teórico de la energía disponible.

2.4 SISTEMAS EÓLICOS

Los sistemas eólicos se clasifican según la potencia que suministran, puede ser de baja, media y alta; se describen a continuación:

- Sistemas de baja potencia: Generalmente estas máquinas son pequeñas y se utilizan para alimentar zonas aisladas de las redes eléctricas convencionales. La potencia que alcanza es del orden de los 50 [kW]. Su aplicación ha aumentado en los últimos años para dar solución a problemas de electrificación en pequeña escala y alimentación de bombeo de agua de baja capacidad. Dadas las características y condiciones en que se presenta el viento, los sistemas eólicos de generación eléctrica, se conectan a un sistema de respaldo, que puede ser un generador Diesel o un banco de baterías, para cumplir con la demanda del consumidor. El respaldo se encarga de almacenar la energía producida, el más utilizado es el acumulador con banco de baterías. También se pueden combinar sistemas eólicos con otros sistemas no convencionales si la disponibilidad de recursos lo permite.
- Sistemas de media potencia: Estos sistemas presentan potencias de alrededor de los 150 [kW], el almacenamiento de energía en este tipo de sistema resulta ser un poco más complicado que en el de baja potencia, por lo que se conectan directamente a la red convencional combinados con un motor Diesel.
- Sistemas de alta potencia: Las potencias suministradas van desde los 300 [kW] hasta los 2500 [kW], las máquinas usadas para este tipo de sistema son de gran tamaño que se utilizan conectadas directamente a la red eléctrica principal como generador de una potencia mayor y específica, o también para construir centrales eolieléctricas.

2.5 LAS MÁQUINAS EÓLICAS

Una máquina eólica tiene este nombre porque es accionado por el viento, puede usar directamente la energía mecánica del viento (aeromotor) o ser accionada mediante un generador eléctrico (aerogenerador).

El aerogenerador se emplea para transformar la fuerza cinética del viento en electricidad, se sitúan sobre una torre ya que la velocidad del viento aumenta a medida que aumenta la altura con respecto al suelo.

Los primeros aerogeneradores fueron de escaso rendimiento; alrededor del 10%, hoy día los sistemas de control les permiten rendimientos altos que se aproximan al 50%, cabe señalar que es un porcentaje muy alto ya que la máxima energía que puede capturar del viento es del 59% (demostrado por Albert Betz en 1919) [5].

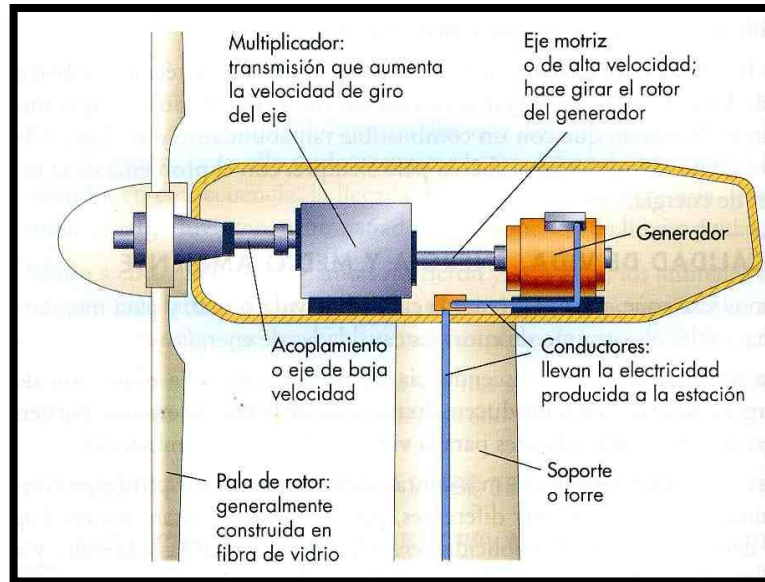
2.5.1 Componentes de un aerogenerador

Los aerogeneradores constan de cuatro (4) partes principales que son:

- Cimentación
- Torre
- Góndola (carcasa de aerogenerador)
- Rotor

Aunque en realidad existen otros componentes que forman parte de una turbina eólica, los cuales se muestran a continuación:

Figura 1. Partes más importantes de una turbina Eólica



Fuente: <http://eeolicacsj.blogspot.com/p/aplicacion-en-nuestro-pais.html>

1. **Cimentación:** Los aerogeneradores actuales de eje horizontal están constituidos por una cimentación subterránea de hormigón armado, adecuada al terreno y a las cargas del viento, sobre la cual se levanta una torre.
2. **Conexión a la red eléctrica:** El sistema para la alimentación de electricidad a la red depende del generador eléctrico empleado: la mayoría de los modernos aerogeneradores en la categoría de Mega Watt usan generadores asincrónicos de inducción conectados a la red rotando a velocidad aproximadamente constante y con conexión directa a la red. Esto significa que no se necesitan rectificadores ni inversores.
3. **Torre:** La torre de un aerogenerador es el elemento estructural que soporta todo peso del aerogenerador y mantiene elevadas del suelo las palas de la turbina. Está hecha de acero y normalmente hueca por dentro para poder permitir el acceso a la góndola. Esta suele ser

típicamente de acero de tipo tubular u hormigón armado (en la actualidad se suelen utilizar estructuras mixtas en las que la parte inferior es de hormigón y la superior de acero). Elevan el aerogenerador lo suficiente como para que sea capaz de acceder a velocidades del viento mayores, en contraste con las bajas velocidades en los puntos cercanos al terreno y la existencia de turbulencias. Al extremo de la torre se fija una góndola giratoria de acero o fibra de vidrio.

4. **Escalera de acceso:** esta permite tener libre paso a las partes más importantes de la turbina para mantenimiento.
5. **Sistema de orientación:** El objetivo de estos sistemas es colocar el rotor de las turbinas en un ángulo óptimo con respecto al viento. En general, las turbinas eólicas de eje horizontal emplean dos sistemas, el pasivo y el activo.
 - Los sistemas pasivos no necesitan motores eléctricos. Las turbinas cuyo rotor está detrás de la torre (sotavento) siguen al viento automáticamente, mientras que las turbinas a barlovento poseen una veleta. Estos sistemas son empleados en turbinas cuyo diámetro del rotor no excede 10 m, aproximadamente.
 - Los sistemas activos son usados fundamentalmente a barlovento. En este caso un mecanismo activamente gira la góndola sobre la torre. Tales sistemas activos fueron usados ya en el siglo XVIII en los molinos europeos. Actualmente estos mecanismos de orientación o motores acimut son más comúnmente empleados

movidos por un solo motor eléctrico o por varios motores al mismo tiempo.

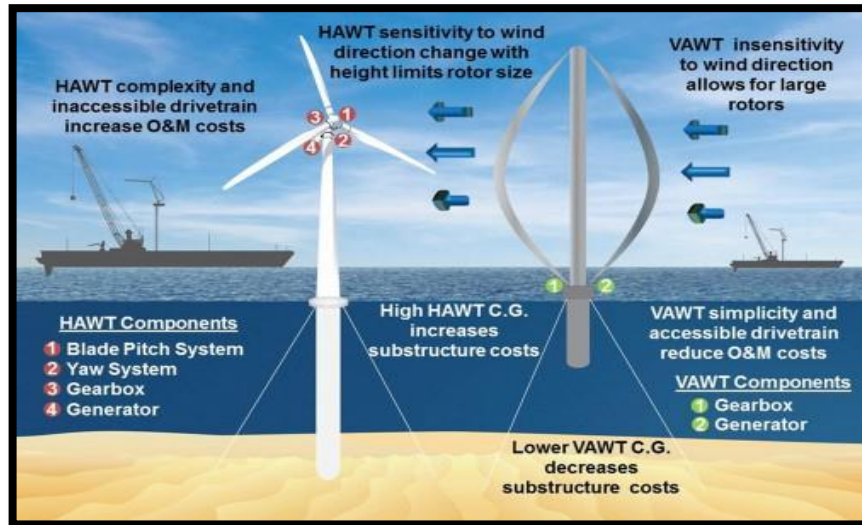
6. **Góndola:** La góndola es un cubículo que se puede considerar la sala de máquinas del aerogenerador. Puede girar en torno a la torre para poner a la turbina encarada al viento. Dentro de ella se encuentran la caja de cambios, el eje principal, los sistemas de control, el generador, los frenos y los mecanismos de giro de la góndola. El eje principal es el encargado de transmitir el par de giro a la caja de cambios.
7. **Rotor:** La mayoría de los rotores en la actualidad son horizontales y pueden tener articulaciones, la más habitual es la de cambio de paso. En la mayoría de los casos el rotor está situado a barlovento de la torre, con el objeto de reducir las cargas cíclicas sobre las aspas que aparecen si se situara a sotavento de ella, pues al pasar una pala por detrás de la estela de la torre, la velocidad incidente está muy alterada. Debido a este fenómeno, las torres de las turbinas con rotores a sotavento son de celosía metálica, por su mayor transparencia al viento.
8. **Anemómetro:** Las señales electrónicas de anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectarlo cuando el viento alcanza aproximadamente 5 m/s. El ordenador parará el aerogenerador automáticamente si la velocidad del viento excede de 25 m/s, con el fin de proteger a la turbina y sus alrededores. Las señales de la veleta son utilizadas por el controlador electrónico para girar el aerogenerador en contra del viento, utilizando el mecanismo de orientación.

9. **Freno:** Las turbinas eólicas están equipadas con sistemas de seguridad muy avanzados. El sistema de frenado de discos permite, en situaciones de emergencia o de mantenimiento, parar el molino.
10. **Caja de cambios:** La función de la caja de cambios es adecuar la velocidad de giro del eje principal a la que necesita el generador. Por ejemplo en una turbina de 1 MW que tenga un rotor de 52 metros de diámetro girará aproximadamente a 20 revoluciones por minuto (rpm) mientras que el generador lo hará a 1500 rpm. La relación de la caja de cambios será de $\frac{1500}{20} = 75$.
11. **Pala:** Normalmente las turbinas modernas están formadas por dos o tres palas, siendo lo normal el uso de tres por la mayor suavidad en el giro que proporciona. Las palas están fabricadas de un material compuesto de matriz polimérica (poliéster) con un refuerzo de fibras de vidrio o carbono para dar mayor resistencia. Pueden medir longitudes en el rango desde 1 metro hasta 100 metros y van conectados al buje del rotor.
12. **Inclinación de la pala:** Dentro del buje del rotor hay ciertos elementos mecánicos que permiten variar el ángulo de incidencia (o pitch) de las palas.

2.6 TIPOS DE MÁQUINAS EÓLICAS

Existen diferentes tipos que van desde pequeñas potencias, hasta las grandes maquinas americanas y alemanas con potencias de varios [MW]. Como existen tantos dispositivos de aprovechamiento de energía se pueden clasificar según la posición de su eje de giro respecto a la dirección del viento.

Figura 2. Tipos de máquinas eólicas



Fuente: <http://www.giafa.com.ar/noticias/vuelven-las-turbinas-eolicas-de-eje-vertical>.

2.6.1 Máquinas de eje vertical

Este tipo de máquina recibe este nombre debido a que su eje se encuentra perpendicular a la dirección del viento, puede estar sometida a un viento con una dirección y velocidad aparentemente variable continuamente, manteniendo la velocidad del viento y la velocidad angular constantes respecto a las palas.

Entre estas máquinas podemos distinguir los siguientes tipos:

- El molino vertical de palas tipo giromil o ciclogiro: Se deriva del Darrieus y tiene entre dos (2) y seis (6) palas.
- Rotores por resistencia: aerogenerador tipo Savonius.

- Rotores por sustentación: aerogenerador tipo Darrieus o de Catenaria: Este tipo de maquina tiene un mal arranque, para que pueda funcionar de una forma acertada necesita como mínimo que la velocidad de los vientos estén entre cuatro (4) y cinco (5) metros por segundo, se construyen con dos (2) o tres (3) palas; esta clase mantiene grandes velocidades de giro y un buen rendimiento si traba a las condiciones especificadas.
- Savonius: Tiene una velocidad de giro muy pequeña y su rendimiento es relativamente bajo, su fabricación es muy sencilla; teniendo la ventaja que puede arrancar con poco viento (pequeña brisa).

Ventajas de aerogeneradores de tipo vertical

- No requiere la utilización de sistemas de orientación para alinearse con la dirección del viento dada su simetría vertical.
- No requieren mecanismos de cambio de revoluciones, no se usan en aplicaciones que necesiten una velocidad angular constante.
- Los elementos que necesitan mantenimiento pueden situarse a nivel del suelo.

2.6.2 Máquinas de eje horizontal

Este tipo de maquina se caracteriza por tener el eje paralelo a la dirección del viento, se usa para poder obtener una velocidad angular regular y uniforme en las palas, para determinada velocidad del viento; necesita que tanto dirección como velocidad se mantengan constantes respecto a las palas; pueden alcanzar grandes potencias, presentando un amplio avance tecnológico. Se pueden

componer de dos o tres palas e incluso de una. Se pueden clasificar según su velocidad de giro o según el número de palas con las que cuenta el rotor.

Los principales tipos de máquinas eólicas de eje horizontal son:

- Máquinas que generan movimiento alternativo (Bombeo de Agua)
- Máquinas múltiparas.
- Hélices con palas pivotantes (ángulo de ataque variable)
- Hélices con palas alabeadas (sofisticadas, incluyen clapetas batientes y alerones de ángulo variable)

Las hélices dependiendo de su posición frente al viento pueden ser de dos (2) tipos:

- Barlovento (Upwind): el rotor se dispone en la parte anterior del eje, por lo tanto, el viento viene de frente hacia las palas.
- Sotavento (Downwind): el rotor se dispone en la parte posterior del eje. El viento incide sobre las palas, pasando primero por el mecanismo de orientación y después por la hélice.

Ventajas de los aerogeneradores de eje horizontal

- Poseen mayor rendimiento en comparación con los de eje vertical.
- La velocidad de rotación del mecanismo es mayor, lo que implica utilizar multiplicadores más sencillos.
- La superficie ocupada por las palas es menor
- La superficie ocupada por las palas es menor que los de eje vertical, utilizando la misma área de barrida.
- Su instalación se puede realizar a mayor altura aprovechando más la velocidad del viento (mayor velocidad a mayor altura).

2.7 RECURSO EÓLICO

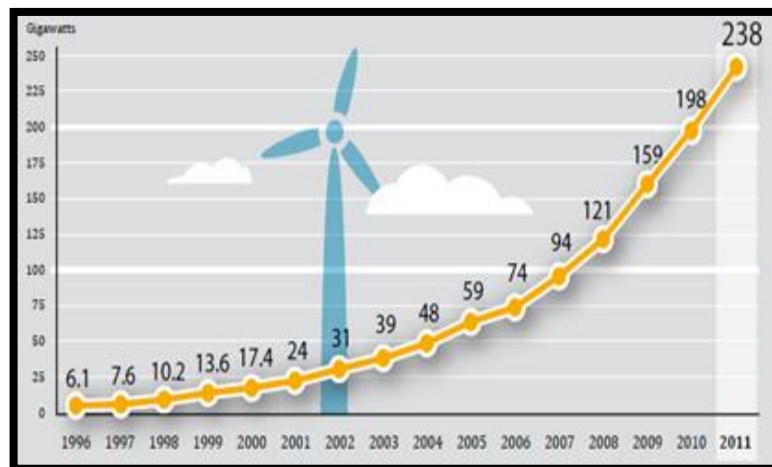
El uso de energías renovables ha incrementado enormemente a nivel mundial con el avance que ha experimentado la tecnología atribuida a estas fuentes limpias de energía en los últimos años. Gracias a esto se ha reducido significativamente el impacto, sin embargo aún sigue la preocupación pues se continúa con la utilización de energías no renovables, y además porque no se ha implementado (o en un bajo porcentaje) el uso de fuentes de energías renovables en varios países; muchos de ellos cuentan con grandes recursos de explotación para el desarrollo de estas tecnologías verdes, como lo es el caso de Colombia.

2.7.1 A nivel mundial

Durante el 2011, el estimado de capacidad en energía eólica fue de 40 GW puesto en operación, más que cualquier otra tecnología renovable, la capacidad global del viento incrementó en un 20% aproximadamente lo que equivale a 238 GW (Ver Figura 3). Alrededor de 50 países sumaron nueva capacidad eólica durante el 2011; al menos 68 países tienen más de 10 MW de capacidad aportada, con 22 de estos pasando de un nivel de 1 GW, y de estos, los 10 primeros países acumulan cerca del 87% de la capacidad mundial. Del período que va de 2006 a 2011 la velocidad promedio anual de crecimiento de la capacidad acumulada de energía eólica fue de 26%. En 2010, más turbinas fueron instaladas en los países en desarrollo y en los mercados emergentes que en países pertenecientes al OECD. Los mejores países con nueva capacidad instalada fueron China, Estados Unidos, India, Alemania y el reino unido, seguido de cerca por Canadá. China instaló cerca de 17.6 GW para acumular así cerca del 44% del mercado global, pero las incrementos de instalación fueron cayendo ligeramente desde el 2010, haciendo del 2011 el primer año en el cual China instaló una menor capacidad que la que hizo el año anterior (Ver figura 5). Los Estados Unidos agregaron más de 6.8 GW en 2011, suficiente para alimentar casi a 2 millones de casas Americanas, brindando un total de capacidad de energía eólica de casi 47 GW. Desde el 2007, la energía eólica llegó al 35% en los países con nueva capacidad de generación eléctrica, más de dos veces la combinación entre carbón y la energía nuclear combinadas. La Unión Europea adicionó cerca de 9.6 GW en 2011, brindando el total de la región de casi 94 GW (Equivalente a la capacidad mundial total en 2007). En 2010, la energía eólica ocupó el tercer lugar en nueva capacidad instalada (21.4%), detrás de la solar fotovoltaica y el gas natural. Alemania mantuvo el mayor mercado en Europa, adicionando 2 GW para un total de 29.1 GW, y generando 46.5 TW de electricidad con energía eólica en 2011. Por primera vez, el Reino Unido ocupó el segundo lugar para las nuevas instalaciones en Europa, agregando 1.3 GW para un total de 6.5 GW a finales del año. España

(justo por sobre 1 GW), Italia (casi 1 GW) fueron otros de los líderes del mercado europeo. Portugal rebasó a Dinamarca uniéndose a la lista de los 10 mejores países del mundo en capacidad total operativa, aportando casi 0.4 GW a la red para un total de 4.1 GW. India fue el tercer mercado más grande en 2011 por segundo año consecutivo, agregando cerca de 3 GW de capacidad, manteniendo su quinto lugar en la lista. Canadá tuvo un año record, adhiriendo 1.3 GW para brindar el total nacional de 5.3 GW. En otros sitios alrededor del mundo, el crecimiento más significativo se vio en América Latina. Brasil tuvo un año fuerte, adicionando más de 0.5 GW para un total de casi 1.5 GW. La energía eólica atrajo importante atención durante una serie de tendencias en Brasil cuando vino a ser claro que los precios de la energía eólica habían caído por debajo de los de la energía eléctrica por gas natural. Otros países que agregaron capacidad eólica fueron Argentina, Chile, Honduras y México. República Dominicana y honduras instalaron su primera capacidad eólica comercial en 2011 [6].

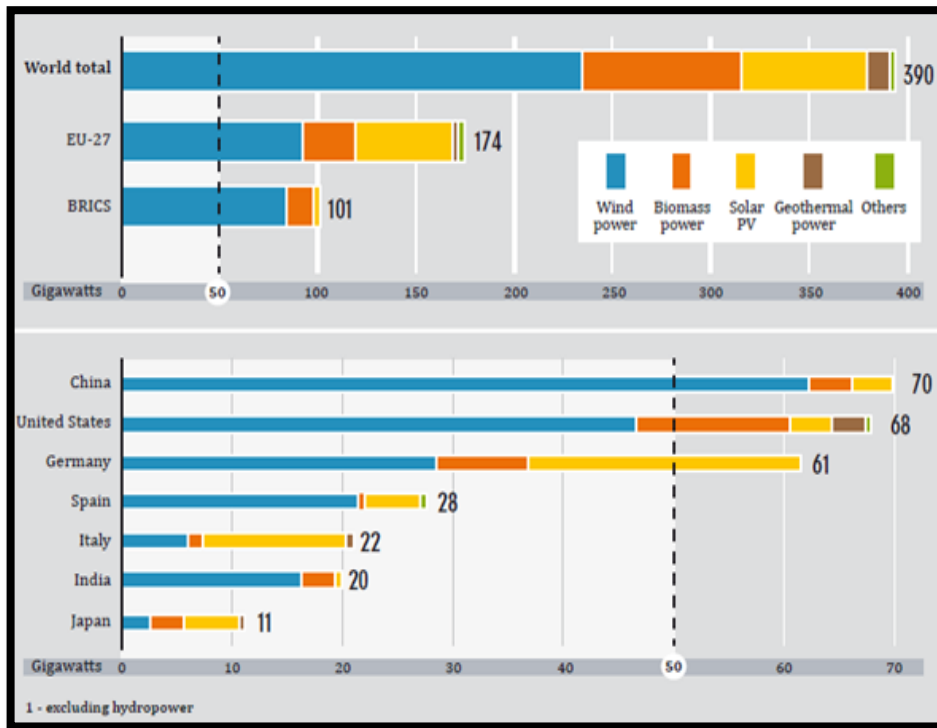
Figura 3. Capacidad mundial instalada de potencia eólica, 1996 – 2011.



Fuente: REN 21 Renewables 2012, Global Status Report.

La potencia total instalada para el 2011 alcanzó la cifra de los 238 [GW], con un incremento del 20,2% con respecto al año anterior. En el periodo de 2003 a 2009 se cuadruplicó la carga instalada a nivel mundial.

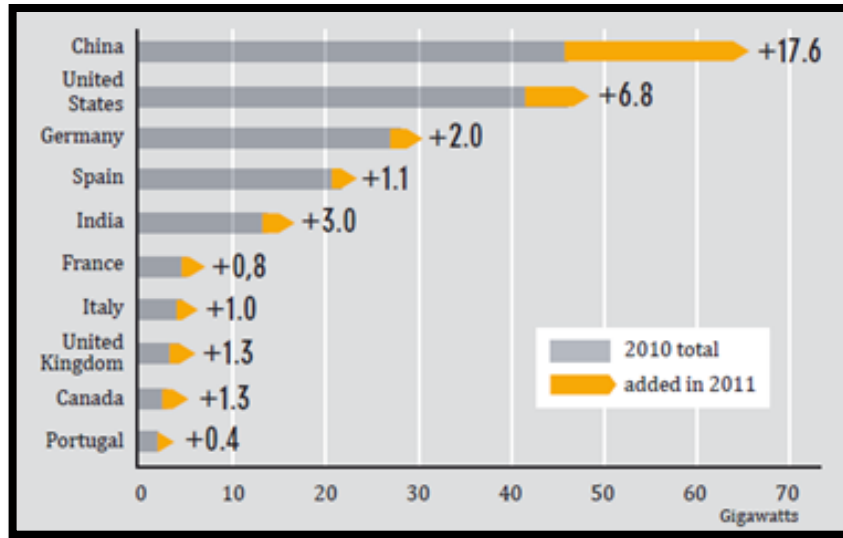
Figura 4. Capacidad de energías renovables¹, EU 27, BRICS, y el top siete de países, 2011.



Fuente: REN 21 Renewables 2012, Global Status Report.

La energía eólica es una de las fuentes de energía renovable que más rápido ha crecido a nivel mundial en cuanto a instalación y que mantiene tasas de crecimiento exponencial.

Figura 5. Incremento de la capacidad instalada durante el año 2011.



Fuente: REN 21 Renewables 2012, Global Status Report.

Los cinco países que presentan la mayor capacidad instalada durante el año 2011 fueron China, Estados Unidos, Alemania, España e India. Estados Unidos quien lideraba el primer puesto en carga instalada fue sobrepasado drásticamente por China a partir del año 2010. En el año 2011 China incorpora 17,6 [GW] a su suministro de potencia, más del doble que la instalada por Estados Unidos en ese mismo año marcando una gran ventaja en el uso de esta tecnología (Ver Figura anterior).

2.7.2 En Colombia

Los vientos en Colombia están entre los mejores de Sudamérica. Regiones en donde se han investigado, como en el departamento de la Guajira, han sido clasificados vientos clase 7 (cerca de los 10 [m/s]). Colombia tiene un potencial estimado de energía eólica de 18 [GW], calculado solamente para el departamento de la Guajira (lo suficiente para satisfacer casi dos veces la demanda nacional de energía). Sin embargo, el país solo ha instalado 19,5 [MW] en energía eólica,

explotando el 0.4% de su potencial teórico. Esta capacidad la aprovecha principalmente el Parque de Jepirachí, desarrollado por Empresas Públicas de Medellín (EPM) bajo Carbon Finance, un mecanismo anexo al Banco Mundial. También hay varios proyectos bajo consideración, incluyendo un parque eólico de 200 [MW] en Ipapure [7].

2.7.2.1 Fuentes No Convencionales de Energía

En Colombia se estableció años atrás la Ley 697 de 2001, en el cual se expresa el tema del URE, que además se incluía lo concerniente a las Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), dándosele carácter de interés social y de conveniencia nacional, pero aún no se cuenta con un plan que se fundamente en un uso racional constante en todas las áreas, para tomar de ahí los objetivos, metas y estrategias a seguir (véase Anexo I).

A diferencia de otros países que tienen metas como reducir las emisiones de contaminación con el apoyo de incentivos gubernamentales, en el caso de Colombia aún no se han trazado metas que conlleven a una verdadera aplicación de la URE en los diferentes campos a excepción de los biocombustibles, que para la ciudad de Bucaramanga se incorporó el sistema de transporte masivo Metrolínea, reduciendo en parte las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

Como actividad preliminar del proyecto es necesario conocer la situación geográfica, topográfica y climática de la zona en estudio, para encaminar el proyecto a soluciones viables y a un lugar específico, bajo las condiciones establecidas por el clima predominante, teniendo una perspectiva clara de los factores que influirán directamente en la ubicación de los aerogeneradores.

La situación social es un factor primordial, latente en todo el desarrollo del proyecto, ya que se busca dar una alternativa energética, que no solo busca suplir parte de la energía que se consume dentro de la universidad sino que además considerar sus consecuencias, las que afectan a la calidad de vida de las personas que conforman el alma mater. Por esta razón se hace una descripción completa de la situación social de la universidad para buscar una solución efectiva.

El principal objetivo de este proyecto es evaluar el potencial de energía eléctrica y realizar un estudio de factibilidad para la implementación de aerogeneradores en la sede principal de La Universidad Industrial de Santander, por lo cual tomando las características ya nombradas en numerales anteriores se procederá bajo las condiciones de viento y de terreno que se dispone.

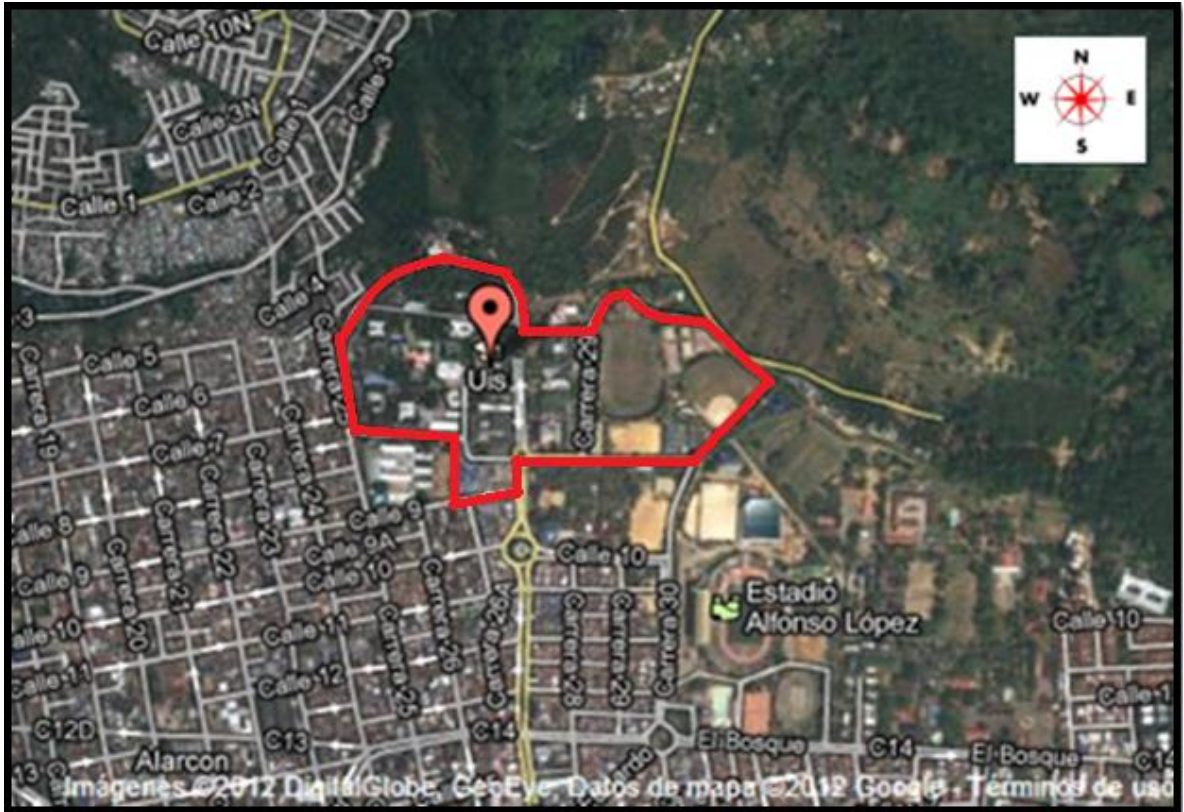
La metodología seguida en el desarrollo da origen a una serie de pasos que conllevan a concretar el proyecto, que van desde el análisis completo de los registros de vientos de la zona hasta un diseño de la incorporación de los aerogeneradores en la universidad.

3.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA

“Bucaramanga está situada en la parte septentrional de Colombia, es la capital del departamento de Santander y se encuentra en la zona intertropical (latitud 7° norte, longitud 73° oeste). Está ubicada al final de una gran cuenca formada por la cordillera oriental, principalmente por el Nevado del Cucuy en el este y la cordillera Covardes en el oeste. Por lo tanto, esta región es conocida como la cuenca del Rio Chicamocha que tiene una orientación, predominantemente, del NO al SE, y al oeste, que es la parte con el Rio Suárez, domina la dirección de NE o SO que significa que esta cuenta se abre al sur. Además, Bucaramanga se halla en una terraza o sea en un área al pie de la cordillera oriental (pie de monte). La altura de esta terraza oscila entre los 800 a 1050 [m], al borde oriental se encuentra en una altitud de 1050 [m], y está cortada por unos pequeños valles (quebradas) que desembocan al oeste en el valle del Rio de Oro, que es la parte más baja de Bucaramanga con una altura de 640 [m] y al norte, la terraza tiene un final abrupto debido a la presencia de una fuerte pendiente que llega hasta el Rio Surata. La diferencia entre el valle del Rio de Oro y el Aeropuerto Palonegro (1180 [m]) sobrepasa los 500 metros, lo que significa que Bucaramanga está caracterizado por un fuerte relieve” [8].

La sede principal de La Universidad Industrial de Santander está ubicada en Bucaramanga y cuenta con un área de 337.000 metros cuadrados en la zona nororiental de la meseta, a una altura media de 1018 metros sobre el nivel del mar. Alberga los edificios de las Facultades de Ingenierías Físico-mecánicas y Físico-químicas, Ciencias Humana, Bienestar Universitario, Dirección General de Investigaciones, Biblioteca Central y oficinas administrativas; además diversos centros de investigación, el Centro de Tecnologías de Información y Comunicación- CENTIC, auditorios, talleres, laboratorios, museos, canchas deportivas y zonas verdes.

Figura 6. Ubicación Geográfica de La Universidad Industrial de Santander.



Fuente: Google Earth

3.2 SITUACIÓN TOPOGRÁFICA

Se caracteriza por la presencia de montañas en dirección occidental, oriental y norte, siendo estas últimas las más cercanas y de extensas arboledas; hacia el sur da comienzo a la parte central de la ciudad.

“La falda de la cordillera oriental presenta fuertes pendientes cortadas por quebradas y cultivos de café. Las cumbres en esta ladera oriental alcanzan una altura mayor a los 1500 [m] y son importantes para determinar la dirección del viento debido al efecto de canalización que producen las mismas” [8].

La universidad cuenta con amplias zonas verdes, concentradas entre las zonas norte y oriental del campus, en su mayoría cubiertas por matorrales y árboles; la

planta física cuenta con 36 edificios para un total de área de cubierta de 38.000 [m²] y que no sobrepasan los 25 metros de altura. A continuación se presentan imágenes de las diferentes zonas del campus universitario:

Figura 7. a) Vista Norte. b) Vista Oriental. c) Vista Sur. d) Vista Occidental. e) Vista central de la universidad Industrial de Santander.

a)



b)



b)



d)



e)



Fuente: Los Autores

La zona oriental es la más despejada en cuanto a edificios debido a que allí se encuentra la zona deportiva que consiste en dos canchas de fútbol, una de gramilla y otra en tierra, dos canchas de tenis, dos canchas de micro fútbol, dos canchas de baloncesto, una cancha de voleibol y otra de voleibol arena, un gimnasio al aire libre y el coliseo que posee un área de cubierta de 1804,3 [m²]. A lado y lado de esta zona se encuentran las vías de ingreso y de salida vehicular hacia la portería de la carrera 30, y colinda con la parte norte del coliseo Alfonso Flórez de Bucaramanga. La parte norte de la universidad limita con una ladera de más de 80 metros que conlleva a los barrios nortes de la ciudad.

3.3 SITUACIÓN CLIMÁTICA

El clima en La Universidad Industrial de Santander según el IDEAM está dado por una temperatura mínima de 19,2 °C, una temperatura máxima de 27,9 °C y una temperatura promedio de 23 °C, con una precipitación anual promedio de 1253 mm al año. [9] La zona se caracteriza por poseer un clima cálido seco con un régimen de lluvias que está distribuido en dos períodos secos y dos lluviosos. Los períodos secos comprenden los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, junio,

julio y agosto. Los períodos lluviosos se distribuyen en los meses de abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre. [10]

3.4 SITUACIÓN SOCIAL

La universidad cuenta con más de 24.320 estudiantes para el año 2013 fuera del equipo docente y administrativo. Es una población considerable de futuros profesionales, que año tras a año salen a enfrentar diversos obstáculos; uno de esos es el de aplicar e incentivar el uso eficiente y racional de la energía. El problema radica en la falta de concientización de muchos frente a este tema.

Uno de los propósitos de este proyecto es el de fomentar y crear conciencia mediante la implementación de aerogeneradores eólicos, formando un sentido de pertenencia con el planeta y el entorno, y de visualizar los desastres que se aproximan si no se toman medidas de acción desde ahora. La idea es crear un gran impacto con esta tecnología y se acostumbren a vivirlo, pues ya en muchos países es una realidad.

4. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

El punto de estudio de este capítulo es el análisis de los datos de viento del campus universitario, tomando como referente bibliográfico el Seminario de investigación en energía eólica perteneciente a la Escuela de Ingeniería Mecánica [11]. Los registros de vientos se tomaron tres puntos diferentes dentro del campus universitario; en el edificio de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, en el edificio de Ingeniería Mecánica y en el edificio de Ingeniería Química facilitados por la CDMB. Con los valores derivados de este análisis es posible conseguir, mediante fórmulas, una altura de torre que permita lograr una velocidad de viento superior para el desarrollo de este proyecto en caso de ser viable o no.

La selección de un lugar factible para la instalación se llevó a cabo después de examinar las ventajas y desventajas de los diferentes lugares que se presentan tomando como base el estudio estadístico de los edificios puestos en análisis; por ende se realizó una inspección visual en las distintas zonas de la universidad, para lograr de esta forma identificar los posibles lugares y así mismo estudiar el terreno y las ventajas del mismo.

Debido a las limitaciones en cuanto a áreas dentro del campus, se estimará la generación a partir de la cantidad máxima de turbinas que se puedan instalar y con ello contribuir (en algún porcentaje que se calculará más adelante) con la demanda energética de la universidad.

4.1 ANÁLISIS DEL VIENTO

Las condiciones del viento en Bucaramanga son caracterizadas por su posición en un clima intertropical con los vientos alisios y el relieve. Sin la influencia del relieve, es decir sin la cordillera oriental, podríamos esperar vientos nororientales.

La verdad es que debido a la gran influencia de la cordillera tenemos vientos que provienen del Norte en La Universidad Industrial de Santander. Estas direcciones predominantes se desarrollan, principalmente, durante el día.

El sistema regional de vientos está dividido en dos partes: un sistema diurno con los vientos alisios influenciados por el relieve y un sistema nocturno que resulta de la ausencia de radiación del sol produciendo aire frío y vientos descendentes. Por tanto, la cordillera es responsable de que exista un clima diferente al que se encuentra en planicies.

Los vientos diurnos:

A la salida del sol, comienza el calentamiento superficial a través de la radiación sobre el costado este de las montañas y cuevas, lo que genera un ascenso en las corrientes de aire, puesto que el aire caliente es más ligero que el aire frío. Un poco más tarde generalmente una hora después siguen los vientos ascendentes en los valles. Durante esta fase se puede observar una precipitación de la inversión térmica formada en la noche.

El volumen de los vientos en calentamiento asciende rápido, lo cual depende de la intensidad en la radiación solar. “Cuando el grado de la nubosidad es relativamente alto, hay retrasos para el inicio de los vientos ascendentes en los valles. Unas 4 a 5 horas después de la salida del sol empieza el régimen del sistema del viento regional” [11].

Los vientos nocturnos:

La aparición de aire frío es el resultado de la disminución y ausencia total de la radiación solar apenas comienza el ocaso, en las partes más bajas cercanas al costado este de las montañas y lomas [12].

La Universidad Industrial de Santander cuenta con los datos de tres estaciones meteorológicas, dos de las cuales ya no se encuentran operando y que se encontraban ubicadas en los edificios de Ingeniería Química e Ingeniería eléctrica; la tercera estación que está aún recopilando información es la estación meteorológica del edificio de Ingeniería Mecánica.

Los datos obtenidos se normalizaron en intervalos de tiempo de una hora debido a que se presentan registros cinco minútales y diez minútales; con estos se obtendrá la dirección y velocidad del viento predominante de cada área, llevando a cabo un estudio estadístico mes a mes, observando la tendencia que presenta y realizar con esto la respectiva caracterización eólica de la zona.

Figura 8. Ubicación estaciones meteorológicas en el campus universitario.



- | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1. PORTERÍA CARRARA 27 | 13. PLANTA TELEFÓNICA | 25. AULA MÁXIMA DE FÍSICA | 37. CIENCIAS HUMANAS |
| 2. AUDITORIO LUIS A CALVO | 14. LANGUAGE INSTITUTE | 26. CEIAM | 38. JARDINERÍA |
| 3. ADMINISTRACIÓN | 15. INGENIERÍA INDUSTRIAL | 27. LAB. ALTA TENSIÓN | 39. CANCHAS DE TENIS |
| 4. INSED | 16. CARACTERIZACIÓN DE MAT. | 28. LAB. DE HIDRÁULICA | 40. CANCHA 1 MAYO |
| 5. TEATRO AIRE LIBRE | 17. LABORATORIOS LIVIANOS | 29. TALLERES DISEÑO INDUSTRIAL | 41. CANCHA DE FUTBOL SUR |
| 6. ADMINISTRACIÓN 2 | 18. CAMILO TORRES | 30. PLANTA DE ACEROS | 42. CANCHAS MÚLTIPLES |
| 7. BIENESTAR UNIVERSITARI | 19. CENTIC | 31. JORGE BAUTISTA V | 43. COLISEO |
| 8. LA PERLA | 20. CAPRUIS Y FAVUIS | 32. FACULTAD ING FÍSICO MECÁNICAS | 44. DIAMANTE DE SOFTBOL |
| 9. MANTÉN Y PLANTA FÍSICA | 21. DISEÑO INDUSTRIAL | 33. DANIEL CASAS | 45. CENIVAM |
| 10. INGENIERÍA MECÁNICA | 22. INGENIERÍA ELÉCTRICA | 34. RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS | 46. CAFETERÍA |
| 11. AULA MAX DE MECÁNICA | 23. LABORATORIO DE POSGRADO | 35. PORTERÍA CARRERA 30 | 47. PORTERÍA CARRERA 25 |
| 12. BIBLIOTECA | 24. INGENIERÍA QUÍMICA | 36. KIOSCO RESIDENCIAS | 48. INVERNADERO |

Fuente: Los Autores - Portal web UIS

A continuación se presentan las características de los equipos de medición de cada uno de estos edificios:

Edificio de Ingeniería Química

En la terraza del edificio de Ingeniería Química se encontraba ubicada una estación meteorológica perteneciente a la CDMB, la cual registró datos de temperatura, precipitación de lluvia, humedad relativa, radiación solar, presión

atmosférica, velocidad y dirección del viento por hora, comprendidos entre enero de 2004 hasta octubre de 2006.

Tabla 2: Características de la estación meteorológica del Edificio de Ingeniería Química.

EDIFICIO DE INGENIERÍA QUÍMICA		
Gill UVW Anemometer	Modelo 27005	
ESPECIFICACIONES	08274 Expanded Polystyrene Propeller (EPS)	
	Diameter	22 [cm]
	Pitch	29,4 [cm]; Wind passage per revolution
	Range	0-25 [m/s] (55 [mph])
	Threshold	0,3 [m/s] (0,6 [mph])
	Distance constant	1,0 [m] (3,2 [ft])
	08254 Carbon Fiber Thermoplastic Propellers (CFT)	
	Diameter	20 [cm]
	Pitch	30,0 [cm]; Wind passage per revolution
	Range	0-35 [m/s] (80 [mph])
	Threshold	0,4 [m/s] (0,8 [mph])
	Distance constant	2,1 [m] (6,9 [ft])

Fuente: Los Autores

Tabla 3. Datos de la señal de salida de la estación meteorológica del Edificio de Ingeniería Química.

EDIFICIO DE INGENIERÍA QUÍMICA		
Gill UVW Anemometer; signal Output		
ESPECIFICACIONES	Standard tach -generator transducer - analog DC to wind component. Polarity indicates rotation direction.voltage proportional	
	1800 RPM (500 mV) + 8.8 m/s (19.7 mph).	
	Power Requirement	24 VAC/12 W for blower motor in UVW Anemometer (separate 115/230V transformer supplied). Propeller Anemometers are self-powered.
	Dimensions	
	Height	107 cm (42 in), each sensor projects 41 cm (16 in), base dia. 16 cm (6.2 in), and mounting 34 mm (1.34 in) dia. (standard 1 in pipe).
Weight	3.6 kg (7.9 lbs.), shipping weight 8.2 kg (18 lbs.)	

Fuente: Los Autores

Edificio de Ingeniería Mecánica

En la azotea del edificio de Ingeniería Mecánica se encuentra ubicada la estación meteorológica perteneciente a dicha Escuela, la cual registró datos de temperatura, precipitación de lluvia, punto de rocío, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento, entre otros, intervalos de cinco minutos. Los datos recopilados van desde noviembre de 2011 hasta marzo de 2012.

Tabla 4. Características de la estación meteorológica del Edificio de Ingeniería Mecánica

EDIFICIO DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Anemómetro		
ESPECIFICACIONES	Marca	Davis Instruments
	Modelo	Vantage VUE™
	Producto	No. 6351
	Manufacturing code	B100519A027
	Final Insp	TNHN
	Precision Weather Station Vantage VUE	
	Quick updates	every 2.5 seconds
	Long –range	wireless transmission up to 1000 ft. (300m)
	Reliable frequency	hopping radio

Fuente: Los Autores

Edificio Ingeniería Eléctrica

En la terraza del edificio de Ingeniería Eléctrica se encontraba ubicada una estación meteorológica perteneciente a dicha escuela, la cual registró datos de temperatura, precipitación de lluvia, humedad relativa, radiación solar, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento por hora, comprendido entre agosto de 2010 hasta agosto de 2011.

Tabla 5. Características de la estación meteorológica del Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA						
Anemómetro						
ESPECIFICACIONES	Marca		Davis Instruments			
	Modelo		Vantage Pro 2			
	FUNCIÓN		RESOLUCIÓN	LIMITES	EXACTITUD + / -	
	PRESIÓN BAROMÉTRICA	Límite de altitud: -600 a +4570		0.1 mm Hg 0.1 mbar	410 a 820 mm Hg 540 a 1100 mbar o hPa	0.8 mm Hg 1.0 mbar o Hpa
		HUMEDAD	Humedad al aire libre	1%	0% a 100%	3%
	Punto de rocío		1°C	-76 °C a + 54°C	1.5°C	
	PRECIPITATION	Precipitation	0.2 mm	0 a 6553 mm	4%	
		Índice de precipitation	0.1 mm	0 a 2438 mm/h	5% ≤127 mm/h	
	TEMPERATURA	Temperatura al aire libre	0.1°C	-40 °C a + 65°C	0.5 °C	
		Índice de calor al aire libre	1°C	-76 °C a + 74°C	1.5°C	
		Sensación térmica	1°C	-76 °C a + 57°C	1°C	
	HORA Y FECHA	Hora	1 minuto	12 /24 horas	8 s/mes	
		Fecha	Día / mes	Año bisiesto	8 s/mes	
		Salida y puesta del sol	1 minuto	24 horas	1 minuto	
	VIENTO	Dirección del viento		1°	0° a 360°	3°
Rosa de vientos		22.5	16 puntos cardinales			
Velocidad del viento		0.1 m/s 1 Km /h	1 a 80 m/s 3 a 290 Km /h	5%		
Dirección de alta velocidad		22.5	16 puntos cardinales			
Recorrido del viento		0.01 m/s 0.01 Km /h	Ilimitado	5%		

Fuente: Los Autores

4.2 DIRECCIÓN DEL VIENTO

La dirección del viento es uno de los factores principales para la evaluación del potencial eólico, ya que indica la dirección predominante de éste y el sentido que debe tener el sistema de orientación para mantener el rotor en un plano perpendicular a la dirección del viento.

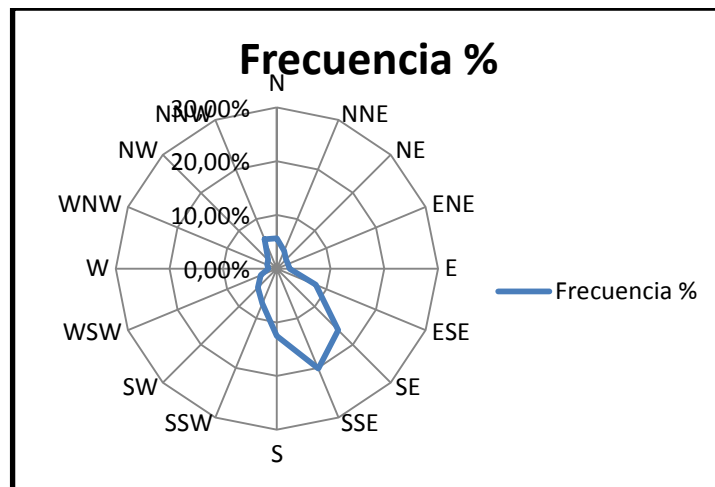
Para obtener la dirección del viento se utilizó la rosa de los vientos de las cuales se obtuvo la frecuencia y la distribución de intensidad en las diferentes direcciones.

A continuación se hará un estudio de la dirección del viento para cada uno de los edificios puestos en análisis en base a los datos registrados por las estaciones, para luego ser comparados entre sí.

4.2.1 Edificio de Ingeniería Química

En la tabla 1 del anexo D se resume mes a mes desde el año 2004 al año 2006 la mayor velocidad del viento y la dirección de la misma para cada uno de los meses del año en estudio. En esta zona se presentan los vientos más fuertes a lo largo de todo el año provenientes en la dirección sureste, de la anterior tabla se observa que la mayor velocidad del viento es de 1,5 [m/s] la cual se presenta en el resumen del mes de febrero de 2004 a 2006 y la menor velocidad del viento es de 1,3 [m/s] en el mes de enero. Los resultados estadísticos de todos los datos registrados por la estación de la CDMB se presentan en la tabla 2 del anexo D y los datos para la rosa de vientos de frecuencia y velocidad del viento general están registrados en la tabla 3 del anexo D.

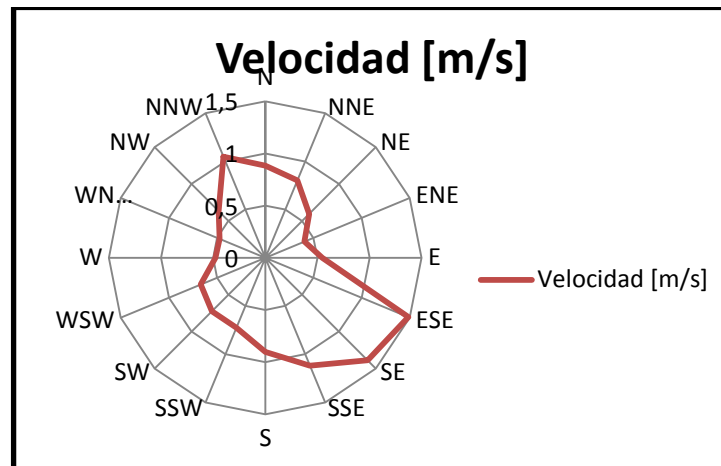
Figura 9. Rosa de los vientos para Frecuencia- General.



Fuente: Los Autores

El viento predominante de esta zona proviene de la dirección sursureste con un 20,15 % del total de los datos registrados.

Figura 10. Rosa de viento para Velocidad del Viento- General.



Fuente: Los Autores

En la figura anterior se observa que la mayor velocidad del viento es de 1,48 [m/s] en dirección este-sudeste.

Se concluye de las dos gráficas anteriores que la dirección predominante (SSE) para la zona circundante al edificio de ingeniería Química es muy próxima a la orientación (ESE) donde se presentan los mayores valores de velocidad de viento registrados.

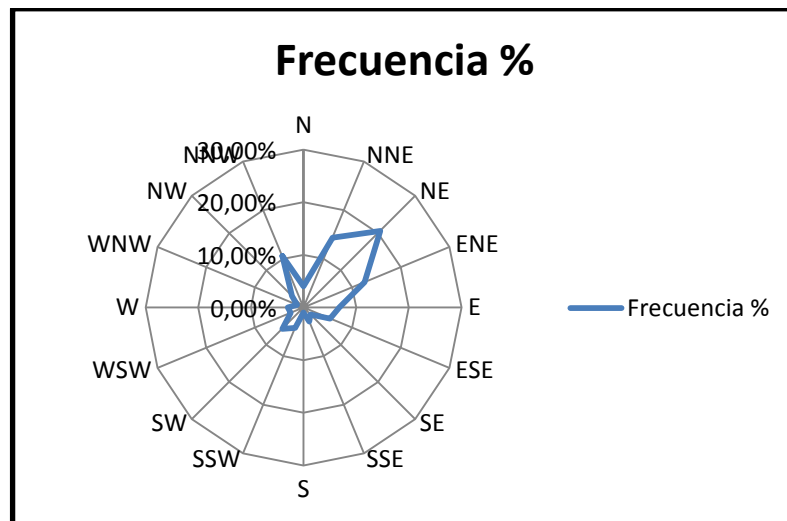
4.2.2 Edificio de Ingeniería Mecánica

En la tabla 4 del anexo D, se resume mes a mes desde noviembre de 2011 a marzo de 2012 la mayor velocidad del viento y la dirección de la misma para cada uno de los meses del año en estudio. En esta zona se presentan los vientos más fuertes en dirección sursuroeste, de la anterior tabla se observa que la mayor

velocidad del viento es de 2,44 [m/s] la cual se presenta en el resumen del mes de marzo de 2012 y la menor velocidad del viento es de 1,34 [m/s] en dirección sursureste en el resumen del mes de noviembre de 2012.

El resumen estadístico general de los datos del edificio de Ingeniería Mecánica se muestran en la tabla 5 del anexo D y la tabla de datos para la Rosa de los vientos de frecuencia y velocidad del viento- General se encuentran en la tabla 6 del anexo D.

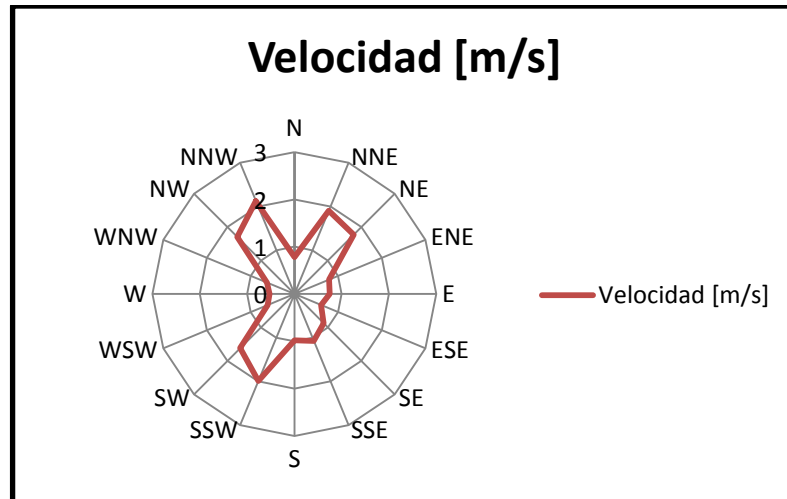
Figura 11. Rosa de los vientos para Frecuencia- General.



Fuente: Los Autores

El viento predominante en esta zona proviene en la dirección noreste con un 20,58% de los datos registrados.

Figura 12. Velocidad del viento.



Fuente: Los Autores

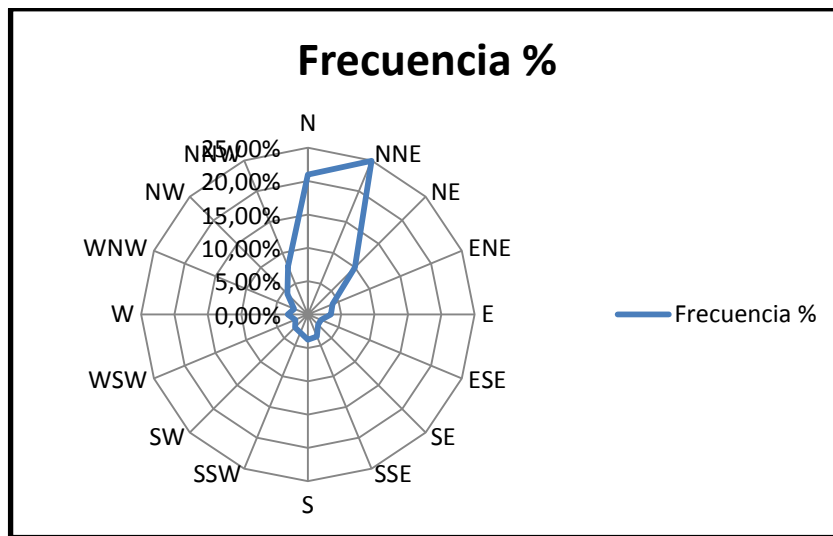
En la figura anterior se observa la presencia de tres bloques con direcciones nornoroeste, nornordeste y sursuroeste con similar intensidad de viento, y que con una diferencia muy leve el dominante es la dirección nornoroeste con una velocidad de 2,13 [m/s]. De las rosas de los vientos de velocidad y frecuencia se puede haber una tendencia grande en dirección norte en cuanto a frecuencia e impetuosidad del viento se refiere y además de la presencia de vientos fuertes también en dirección sursuroeste.

4.2.3 Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

En la tabla 7 del anexo D, se resume mes a mes desde septiembre de 2010 hasta agosto de 2011 la mayor velocidad del viento y la dirección de la misma para cada uno de los meses del año en estudio. En esta zona se presentan los vientos más fuertes en dirección sur, se observa que la mayor velocidad del viento es de 1,89 [m/s] la cual se presenta en el mes de septiembre de 2010 y la menor velocidad del viento es de 0,95 [m/s] en dirección nornordeste para el mes de diciembre de 2010.

El resumen estadístico general de los datos del edificio de Ingeniería Eléctrica se presenta en la tabla 8 del anexo D, y en la tabla 9 del anexo D se presentan los datos para la rosa de los vientos de frecuencia y velocidad del viento general.

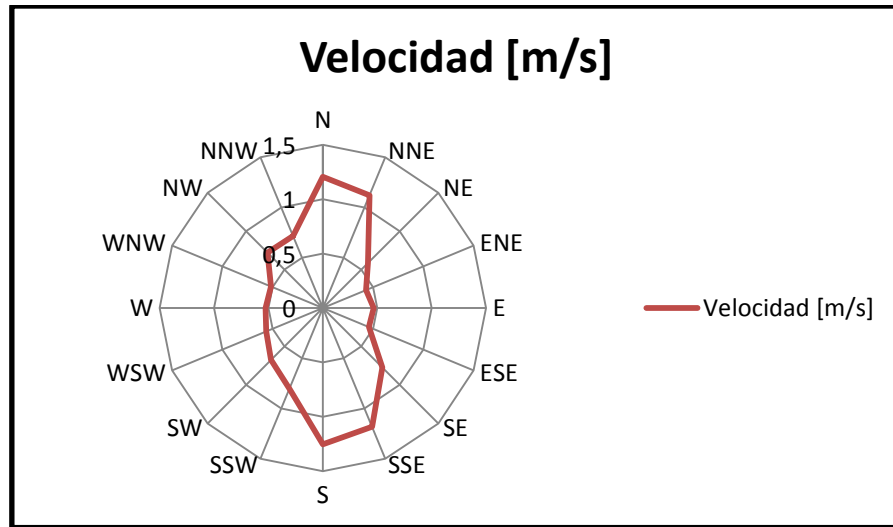
Figura 13. Rosa de los vientos para frecuencia



Fuente: Los Autores

El viento predominante de esta zona viene dado en dirección nordeste con un 24,9% de los datos registrados.

Figura 14. Velocidad del viento



Fuente: Los Autores

En la figura anterior se observa que la mayor velocidad del viento es de 1,25 [m/s] en dirección sur.

De las rosas de los vientos de velocidad y frecuencia se observa que no son coincidentes en cuanto a dirección debido a que los vientos más fuertes vienen del sur, pero el viento predominante en la zona proviene del nornordeste.

4.2.4 Estudio de datos y resultados

Las rosas de viento de los diferentes puntos de la universidad muestran que dominan las direcciones del sector norte a noreste, además no hay contrastes estacionales significantes. Este es el resultado de que los vientos ascendentes tienen una gran fuerza y por eso el sistema eólico regional a veces dura hasta la noche, además los vientos más fuertes registrados presentan una tendencia en dirección sur.

En el Anexo A se presentan los gráficos de dirección y magnitud de viento (rosa de los vientos) mes a mes correspondientes a cada uno de los edificios.

4.3 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE VELOCIDAD

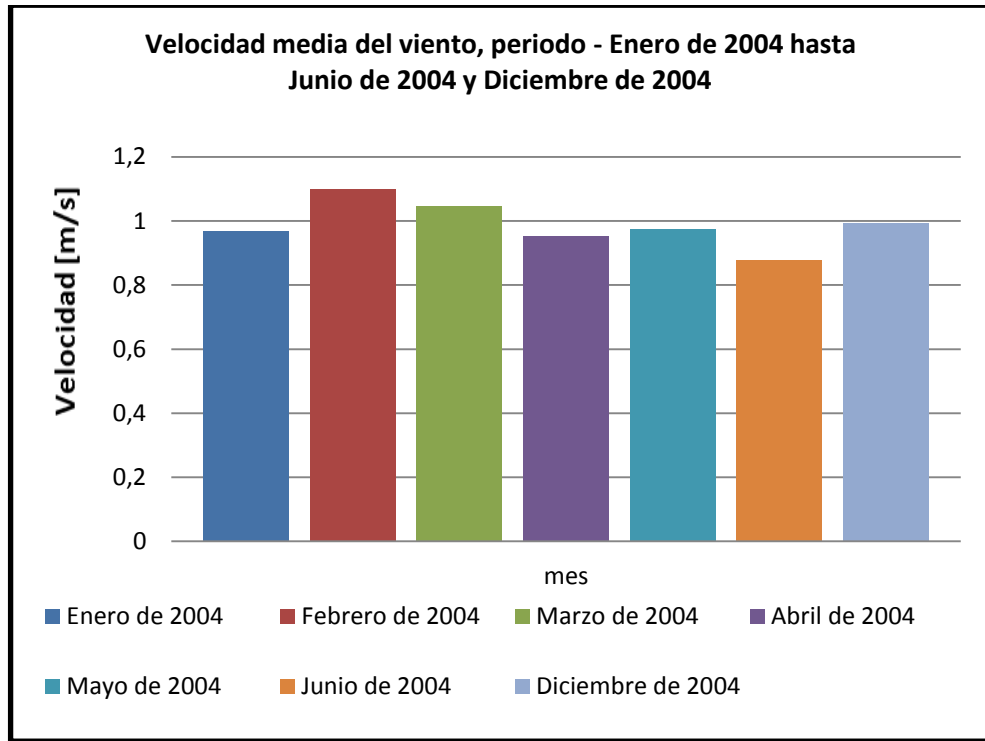
Para obtener la distribución de frecuencia de velocidad de viento y su variabilidad se utilizó la distribución de Weibull, la cual utiliza el método de ajuste por mínimos cuadrados. Es una forma estadística de representar el viento para saber si el lugar del emplazamiento es adecuado o no.

La distribución de Weibull se basa en dos parámetros: un parámetro de escala c y un parámetro de distribución de forma k el cual indica la relación existente entre la potencia obtenida en este periodo y la potencia media que se obtendría en ese periodo si la velocidad del viento se mantuviera constante. Estos factores indican lo ventoso del lugar del emplazamiento, lo que depende de las condiciones climáticas locales, del paisaje y de su superficie.

4.3.1 Edificio de Ingeniería Química

En la tabla 1 del anexo E se presentan los datos de la velocidad de viento mensual para el año 2004 y como complemento a esta en la figura 15 se puede observar los datos de velocidad media del viento registradas durante Enero hasta Junio de 2004 y Diciembre de 2004 (No se tienen registros de los meses de julio a noviembre del mismo año) por la estación de la CDMB ubicada sobre el edificio de Ingeniería Química. Se presenta una velocidad media máxima de 1,1 [m/s] en el mes de febrero y una velocidad media mínima de 0,88 [m/s] en el mes de junio.

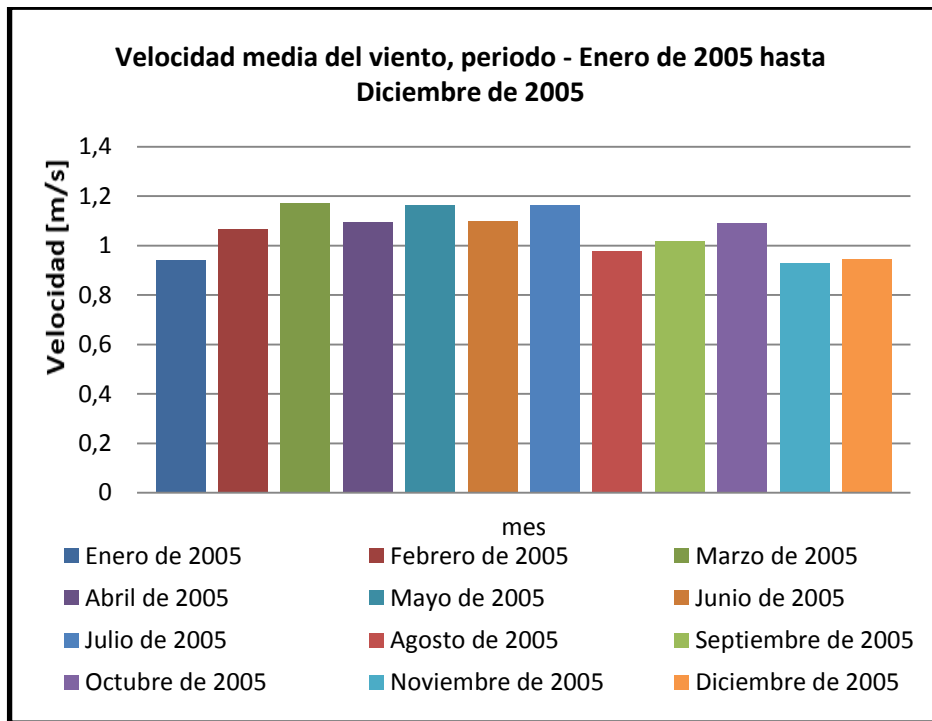
Figura 15. Velocidad media de viento mensual, periodo – Enero de 2004 hasta Junio de 2004 y Diciembre de 2004 - edificio de Ingeniería Química.



Fuente: Los Autores

La figura 16 como complemento a la tabla 2 del anexo E, se puede observar los datos de velocidad media del viento registradas durante enero de 2005 hasta diciembre de 2005 por dicha estación. Se presenta una velocidad media máxima de 1,17 [m/s] en el mes de marzo y una velocidad media mínima de 0,93 [m/s] en el mes de noviembre.

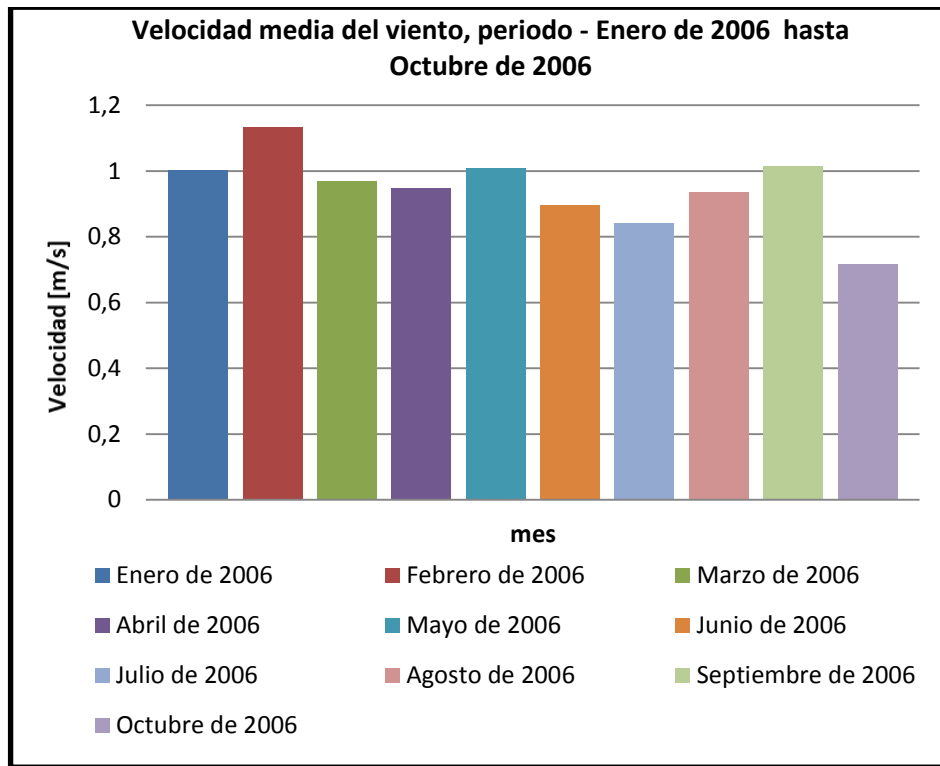
Figura 16. Velocidad media de viento mensual, periodo - Enero de 2005 hasta Diciembre de 2005 - edificio de Ingeniería Química.



Fuente: Los Autores

En la figura 17 se puede observar los datos de velocidad media del viento registradas durante Enero de 2006 hasta Octubre de 2006 por dicha estación como complemento a la tabla 3 del anexo E. Se presenta una velocidad media máxima de 1,13 [m/s] en el mes de febrero y una velocidad media mínima de 0,72 [m/s] en el mes de Octubre.

Figura 17. Velocidad media de viento mensual, periodo - Enero de 2006 hasta Octubre de 2006 - edificio de Ingeniería Química.

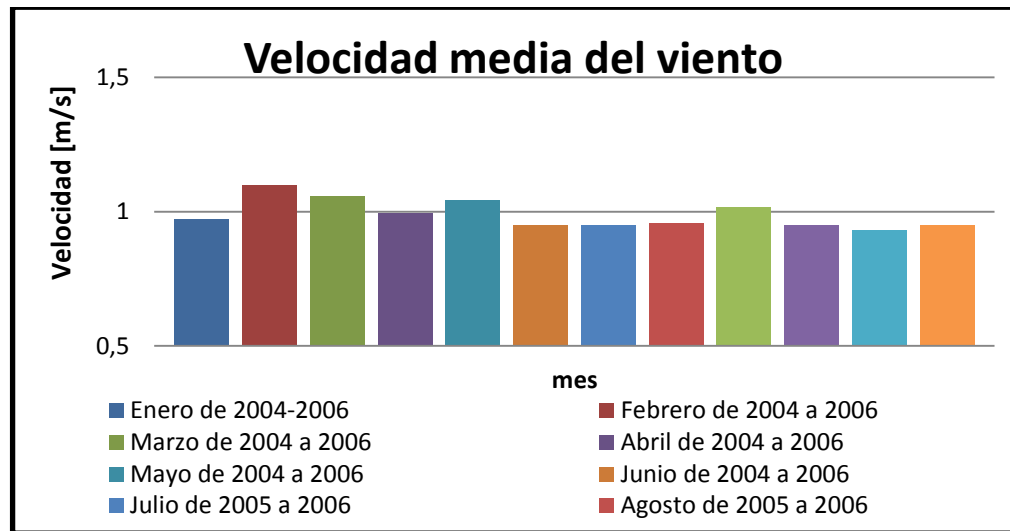


Fuente: Los Autores

En la tabla 4 del anexo E se presenta un resumen, en donde se comparan los datos velocidad media del viento promediando los meses consecutivos desde el año 2004 hasta el año 2006. En esta tabla se observa que los datos velocidad media del viento para enero de 2004 es de 0,97 [m/s], para enero de 2005 es de 0,94 [m/s] y para enero de 2006 es de 1 [m/s]; de donde se observa la poca variación mes a mes, de donde se concluye que en estos tres años no hubo cambios drásticos relacionados con la velocidad del viento.

En la figura 18 se puede observar los datos de velocidad media del viento registradas durante Enero de 2004 hasta Octubre de 2006 por la estación de la CDMB ubicada sobre el edificio de Ingeniería Química.

Figura 18. Velocidad media de viento mensual, periodo - Enero de 2004 hasta Octubre de 2006 - edificio de Ingeniería Química.



Fuente: Los Autores

En la gráfica anterior se presenta un resumen de los datos de velocidad media del viento desde el año 2004 hasta 2006; aquí se puede observar que la velocidad máxima media de 1,1 [m/s] y se presenta en el mes de Febrero, también se deduce que la velocidad mínima media de 0,93 [m/s] y se presenta en el mes de Noviembre de 2005, los demás meses mantienen velocidades constantes y sin variación significativa mes a mes.

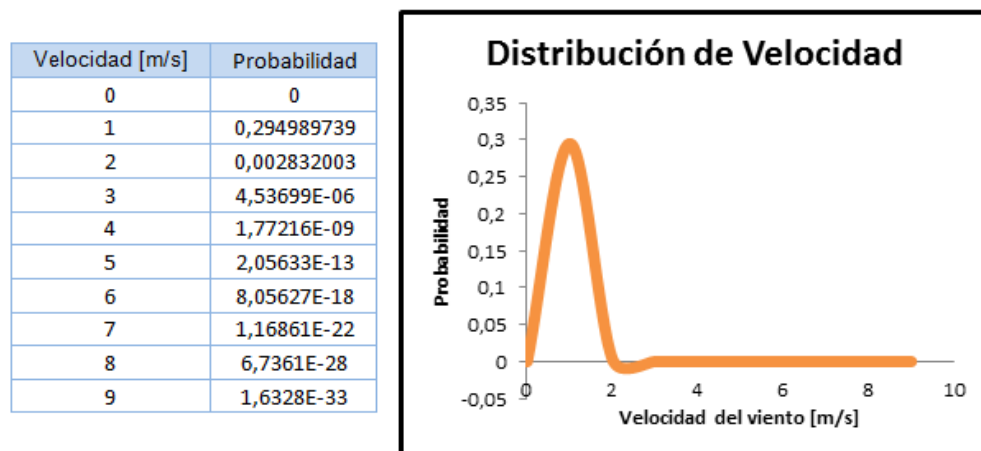
En la Tabla 5 del anexo E, se muestran los valores de los parámetros k y c de Weibull obtenidos de la estación meteorológica ubicada en el edificio de Ingeniería Química en dicho periodo, los cuales se pueden comparar con los valores de frecuencia de viento graficados en el anexo B.

En el estudio de los registros de viento se obtuvo los valores de los parámetros k y c del resumen de los meses de enero de 2004 a octubre de 2006 (ver la tabla 5 del anexo E) para comprobar la confiabilidad de los datos obtenidos y las distribuciones de estos, obteniendo la velocidad media de cada mes las cuales se pueden observar en la figura 18.

Los valores obtenidos del factor k para el periodo comprendido entre el 1 de enero de 2004 y el 19 de octubre de 2006 es de 1,62 lo que indica una distribución con acumulación de datos hacia la izquierda, que muestra una probabilidad que el 95% de las velocidades de viento sean inferiores a 1.62 veces el promedio de velocidades; esto significa que el 95% de los valores de velocidad de viento serán inferiores a 3 [m/s], mientras que el 5% restante serán valores superiores a 3 [m/s]. Esto se puede observar claramente en los valores de distribución de frecuencia de velocidad del viento de cada mes los cuales se muestran en los gráficos del Anexo B.

Con respecto al valor del parámetro c los valores revelan una preferencia hacia velocidades de viento menores a 1 [m/s]. Estos valores indican un mal emplazamiento, aunque al aumentar la altura los valores de velocidad de viento aumentarían, lo que puede favorecer la instalación y funcionamiento de aerogeneradores eólicos. La curva o pendiente que se adquiere de esta distribución representa una probabilidad, tal como se observa en la Figura 19, en donde se puede observar un resumen de la distribución de velocidad.

Figura 19. Distribución de Weibull, periodo - Enero de 2004 hasta Octubre de 2006 - edificio de Ingeniería Química.



Fuente: Los autores

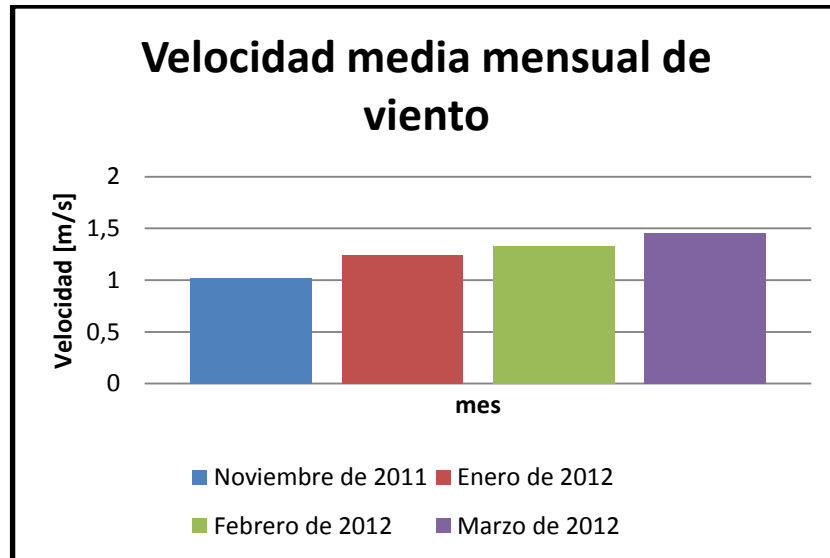
4.3.2 Edificio de Ingeniería Mecánica

Tabla 6 del anexo E, se muestra el resumen para los datos de la Velocidad media de viento mensual para noviembre del año 2011, además enero, febrero y marzo del año 2012.

En la figura 20 se pueden observar los datos de velocidad media del viento registradas durante los meses de noviembre de 2011 y enero, febrero y marzo de 2012 por la estación ubicada sobre el edificio de Ingeniería Mecánica.

Debido a la reciente incorporación de esta estación solo se tiene el registro de esos meses en la base de datos, pero que ayudan a dar una idea de que tanto varían los vientos en este sector.

Figura 20. Velocidad media mensual de viento, edificio de Ingeniería Mecánica.



Fuente: Los autores

En resumen se presenta una velocidad máxima media de 1,45 [m/s] en el mes de marzo de 2012 y una velocidad mínima media de 1,02 [m/s] en el mes de noviembre de 2011, resaltando que en lo corrido del mes de enero hasta el mes de marzo se incrementó en un 16 % la velocidad media del viento, lo cual representa un 0,2 [m/s].

En el estudio de los registros de viento se obtuvo los valores de los parámetros k y c del resumen de los meses de noviembre de 2011 a marzo de 2012 (ver la tabla 7 del anexo E) para comprobar la confiabilidad de los datos obtenidos y las distribuciones de estos, obteniendo la velocidad media de cada mes las cuales se pueden observar en la figura 20.

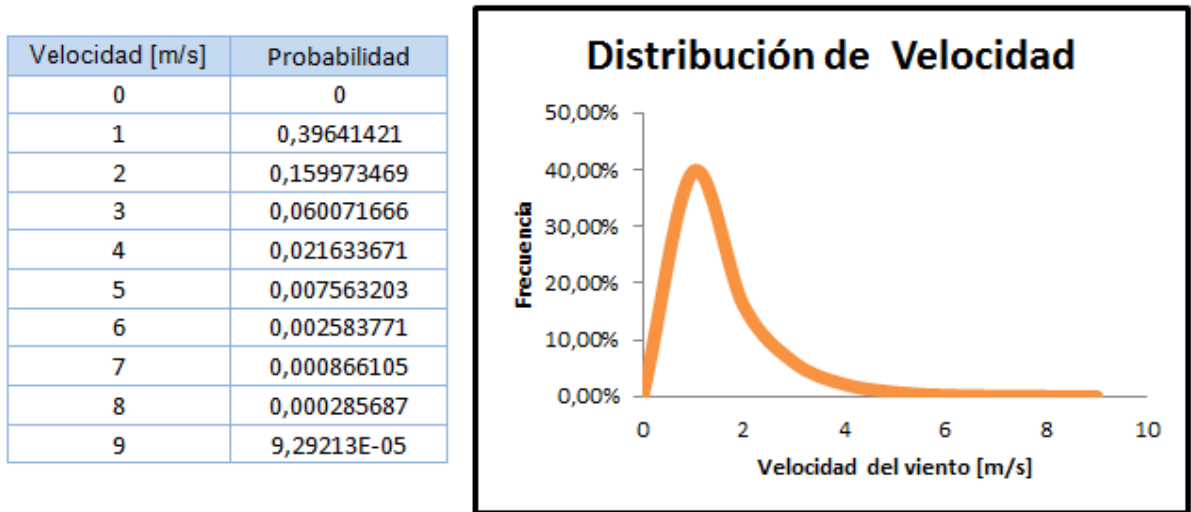
Los valores obtenidos del factor k para el periodo comprendido entre el 25 de noviembre de 2011 y al 15 de marzo de 2012 es de 1.128 lo que indica una distribución con acumulación de datos hacia la izquierda, que muestra una probabilidad que el 95% de las velocidades de viento sean inferiores a 1.13 veces

el promedio de velocidades; esto significa que el 95% de los valores de velocidad de viento serán inferiores a 3 m/s, mientras que el 5% restante serán valores superiores a 3 m/s. Esto se puede observar claramente en los valores de distribución de frecuencia de velocidad del viento de cada mes los cuales se muestran en los gráficos del Anexo B.

Con respecto al valor del parámetro c los valores revelan una propensión hacia velocidades de viento menores a 1 [m/s]. Estos valores indican un mal emplazamiento de la central en este lugar, aunque al aumentar la altura los valores de velocidad de viento aumentarían, lo que puede favorecer la instalación y funcionamiento de aerogeneradores eólicos.

La curva o pendiente que se adquiere de esta distribución representa una probabilidad, tal como se observa en la Figura 21, en donde se puede observar un resumen de la distribución de velocidad.

Figura 21. Distribución de Weibull, periodo - Noviembre de 2011 a Marzo de 2012 - edificio de Ingeniería Mecánica.



Fuente: Los Autores

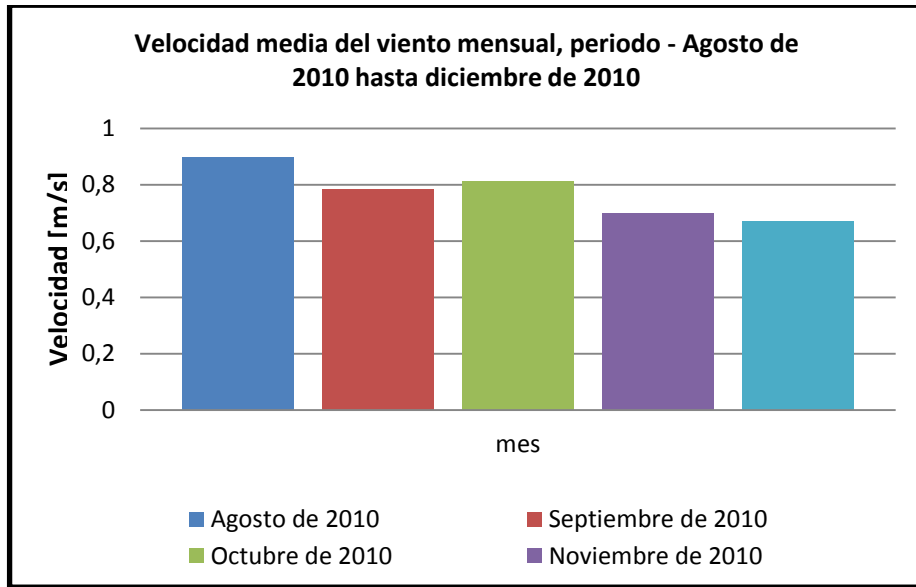
4.3.3 Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

Los datos registrados por el anemómetro ubicado en este edificio van desde agosto de 2010 hasta Agosto de 2011, realizando una distribución por año y luego una comparación mes a mes durante este periodo.

En la tabla 8 del anexo E, se muestran los datos de la Velocidad media de viento mensual para el año 2010.

En la figura 22, se observa una velocidad media máxima de 0,9 [m/s] en el mes de Agosto y una velocidad media mínima de 0,67 [m/s] en el mes de Diciembre.

Figura 22. Velocidad media mensual de viento, periodo -Agosto de 2010 hasta Diciembre de 2010- edificio de Ingeniería Eléctrica.

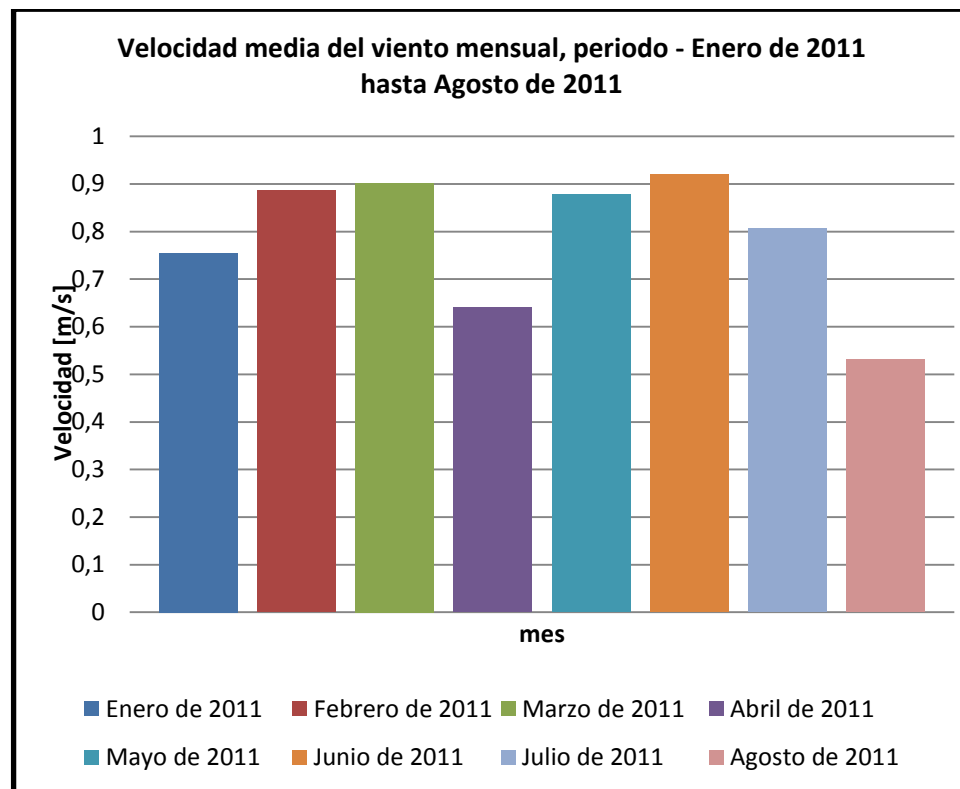


Fuente: Los Autores

En la tabla 9 del anexo E, se presentan los datos de la Velocidad media de viento mensual para el año 2011.

En la figura 23, se pueden observar los datos de velocidad media del viento registradas durante los meses de Enero de 2011 hasta Agosto de 2011. Se presenta una velocidad máxima media de 0,92 [m/s] en el mes de Junio y una velocidad mínima media de 0,53 [m/s] en el mes de Agosto.

Figura 23. Velocidad media mensual de viento, periodo -Enero de 2011 hasta Agosto de 2011- edificio de Ingeniería Eléctrica.

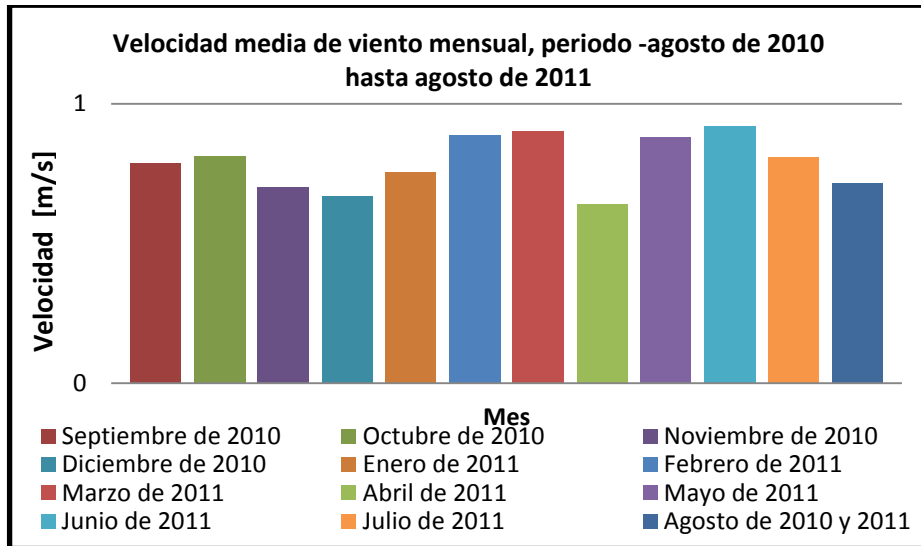


Fuente: Los Autores

A continuación se muestra un resumen, en donde se comparan los datos velocidad media del viento promediando los meses consecutivos desde el año 2010 hasta el año 2011 que en este caso solo sería el mes de Agosto.

En la tabla 10 del anexo E se muestra un resumen, donde se comparan los datos velocidad media del viento promediando los meses consecutivos desde el año 2010 hasta el año 2011 que en este caso solo sería el mes de Agosto.

Figura 24. Velocidad media mensual de viento, periodo -Agosto de 2010 hasta Agosto de 2011- edificio de Ingeniería Eléctrica.



Fuente: Los Autores

En resumen los datos de velocidad media del viento mensual para el año 2010 y 2011, muestran bajas velocidades promedio de viento, se presenta una velocidad máxima media de 0,92 [m/s] en el mes de Junio de 2011 y una velocidad mínima media de 0,64 [m/s] en el mes de Abril de 2011.

En el estudio de los registros de viento se obtuvo los valores de los parámetros k y c del resumen de los meses de septiembre de 2010 a agosto de 2011 (ver la tabla 11 del anexo E) para comprobar la confiabilidad de los datos obtenidos y las distribuciones de estos, obteniendo la velocidad media de cada mes las cuales se pueden observar en la figura 24.

Los valores obtenidos del factor k para el periodo comprendido entre el 1 de septiembre de 2010 al 25 de agosto de 2011 es de 1,897 lo que indica una distribución con acumulación de datos hacia la izquierda, que muestra una probabilidad que el 95% de las velocidades de viento sean inferiores a 1,897 veces el promedio de velocidades; esto significa que el 95% de los valores de

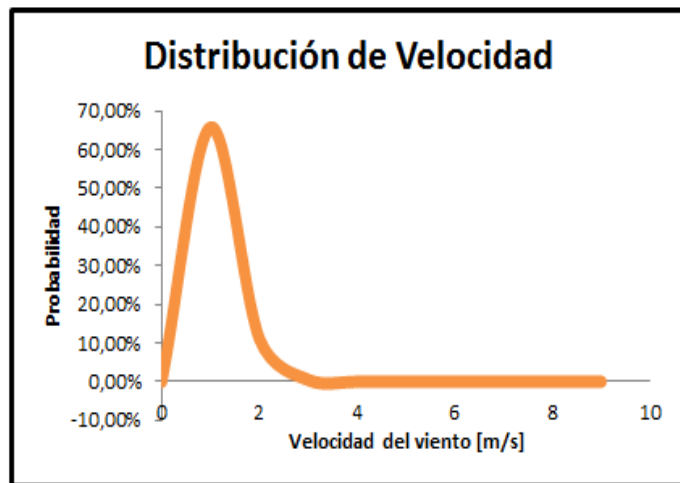
velocidad de viento serán inferiores a 3 m/s, mientras que el 5% restante serán valores superiores a 3 m/s. Esto se puede observar claramente en los valores de distribución de frecuencia de velocidad del viento de cada mes los cuales se muestran en los gráficos del Anexo B.

Con respecto al valor del parámetro c los valores revelan una propensión hacia velocidades de viento de 1 m/s. Estos valores indican un mal emplazamiento, aunque al aumentar la altura los valores de velocidad de viento aumentarían, lo que puede favorecer la instalación y funcionamiento del aerogenerador eólico.

La curva o pendiente que se adquiere de esta distribución representa una probabilidad, tal como se observa en la Figura 25, en donde se puede observar un resumen de la distribución de velocidad.

Figura 25. Distribución de Weibull, periodo - Septiembre de 2010 hasta Agosto de 2011 - edificio de Ingeniería Eléctrica.

Velocidad [m/s]	Probabilidad
0	0
1	0,657442178
2	0,111373293
3	0,004704354
4	6,25147E-05
5	2,90432E-07
6	5,03402E-10
7	3,40881E-13
8	9,34243E-17
9	1,06627E-20



Fuente: Los autores

4.3.4 Estudio de datos y resultados

Las mejores lecturas de viento se dan en la estación meteorológica ubicada en el edificio de Ingeniería Mecánica, esto se debe a la menor cercanía con árboles, siendo esta una zona despejada a dicha altura, en comparación con las estaciones que se encontraban en los otros dos edificios, pues los árboles son más altos y abundantes, lo que genera turbulencia y una disminución en la velocidad del viento. Además a nivel topográfico el edificio de Ingeniería Mecánica se encuentra en un nivel mayor (respecto al mar) que los edificios de Eléctrica y Química, lo que favorece a la lectura registrada por la estación.

4.4 VARIACIONES Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL VIENTO

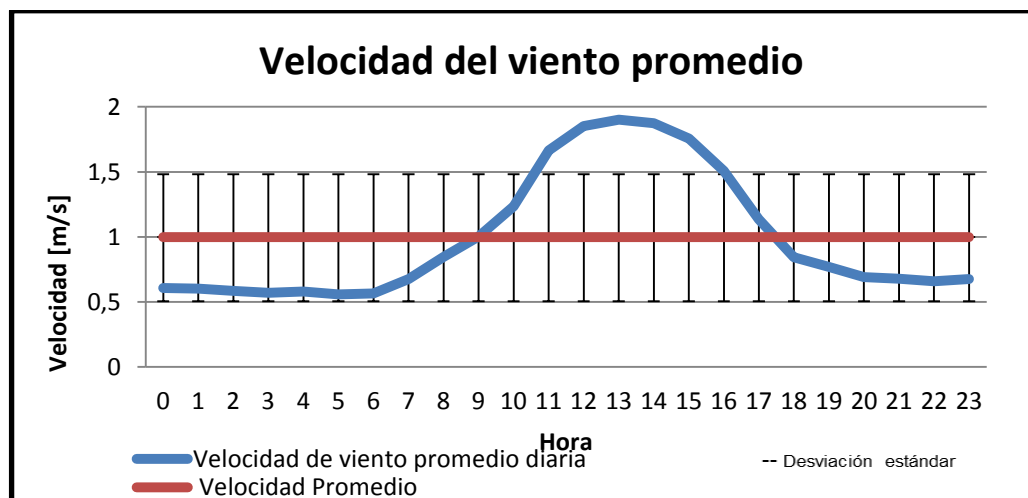
La desviación estándar sirve para identificar las turbulencias atmosféricas ocurridas en los periodos de medición de viento. Las desviaciones calculadas fueron altas con los datos obtenidos a 12 metros de altura, lo que se debe a la cercanía con los edificios y a la existencia de árboles que interrumpen el flujo del viento.

Las turbulencias entregan información sobre las rápidas perturbaciones de la velocidad del viento, la variación de la dirección y su incidencia en la turbina eólica; esto indica que a mayor turbulencia es menor la energía entregada por la turbina y mayor la carga mecánica que deben soportar sus componentes, esta turbulencia indica la dispersión de los datos y se calcula utilizando la desviación estándar por sobre el promedio de velocidades; a continuación se realiza el estudio.

4.4.1 Edificio de Ingeniería Química

Las variaciones mensuales de viento por horario promedio entre los valores máximos y mínimos obtenidos indican una tendencia entre los meses de enero de 2004 hasta octubre de 2006 de aumentar el valor de velocidad promedio entre las 9:00 horas hasta las 17:30 horas, llegando estos valores a sobrepasar los 1,8 [m/s]. Este lapso de horas es de bastante demanda de consumo de energía, lo que podría ser ampliamente utilizado para la generación de electricidad. En el Anexo C se presentan los Gráficos de Variaciones Mensuales de Viento por Hora Promedio con los cuales se puede comprobar los valores antes descritos. Por otro parte, la Figura 26 se muestra la velocidad de viento promedio diaria obtenida de los valores mensuales comprendidos en el estudio.

Figura 26. Velocidad del viento promedio diaria, periodo enero de 2004 hasta octubre de 2006.



Fuente: Los Autores

De acuerdo a la cantidad de datos analizados y el estudio realizado para obtener la anterior figura se notó que en ella la velocidad promedio es de 1 [m/s] y desde las 8:00 p.m. hasta las 7:00 a.m. la velocidad del viento se mantiene muy baja oscilando entre los 0,5 y 0,7 [m/s], pero a partir de las 6:00 am hasta las 1:00 pm

se observa un incremento progresivo llegando a los 1,9 [m/s] aproximadamente, para luego empieza a menguar hasta las 8:00 pm quedando por debajo de la velocidad promedio (tiempos de calma), manteniéndose entre los 0,6 y 0,8 [m/s] después de dicha hora.

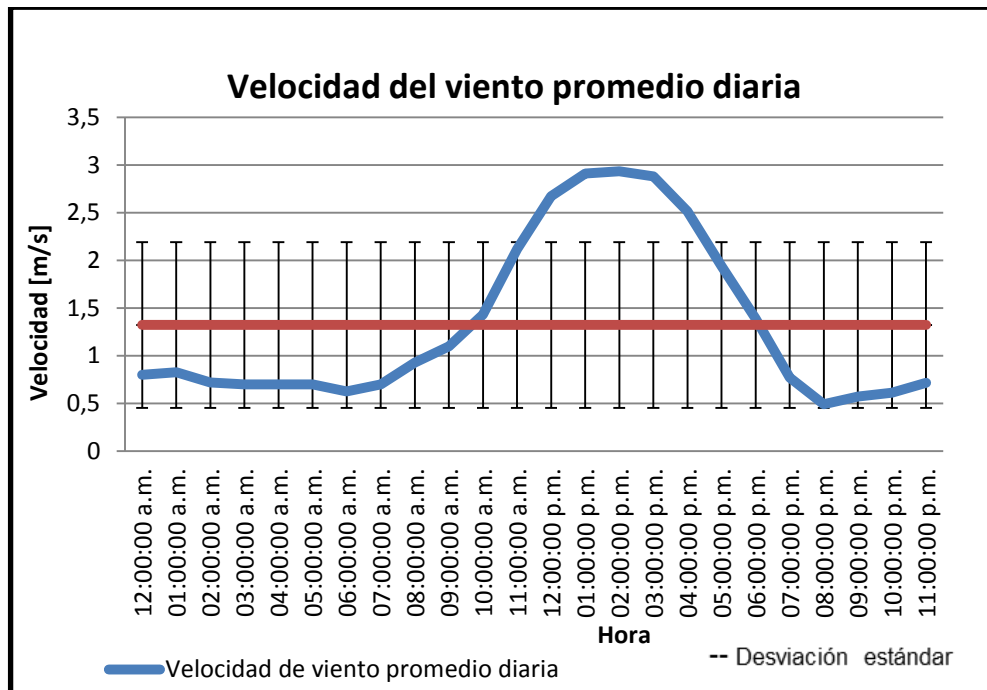
En la Tabla 1 del anexo F se muestra un resumen de la cantidad de horas de ocurrencia de velocidad basadas en los promedios obtenidos a 12 metros de altura. Esta tabla muestra las variaciones de viento ocurridas en los distintos meses del estudio.

La tabla muestra que no existen variaciones muy altas entre las velocidades promedios de los distintos meses, los valores se mantienen principalmente entre 0 y 1 [m/s], las ocurrencias de valores están en rangos similares, lo que significa que a 12 metros de altura el viento no tiene grandes variaciones de velocidad.

4.4.2 Edificio de Ingeniería Mecánica

Las variaciones mensuales de viento por horario promedio entre los valores máximos y mínimos obtenidos indican una tendencia entre los meses de noviembre de 2011 hasta marzo de 2012 de aumentar el valor de velocidad promedio entre las 10:00 horas hasta las 18:00 horas, llegando estos valores a sobrepasar los 2,5 [m/s]. Este lapso de horas es de bastante demanda de consumo de energía, lo que podría ser ampliamente utilizado para la generación de electricidad.

Figura 27. Velocidad del viento promedio diaria, periodo noviembre de 2011 hasta marzo de 2012.



Fuente: Los Autores

De acuerdo a la cantidad de datos analizados y el estudio realizado para obtener la anterior figura se observa que la velocidad promedio es de 1,32 [m/s] y desde las 7:00 p.m. hasta las 7:00 a.m. la velocidad del viento se mantiene baja y relativamente constante oscilando entre los 0,5 y 1 [m/s], pero a partir de las 7:00 a.m. hasta las 2:00 p.m. se observa un incremento progresivo, pero decrece hasta las 8:00 pm quedando por debajo de la velocidad promedio.

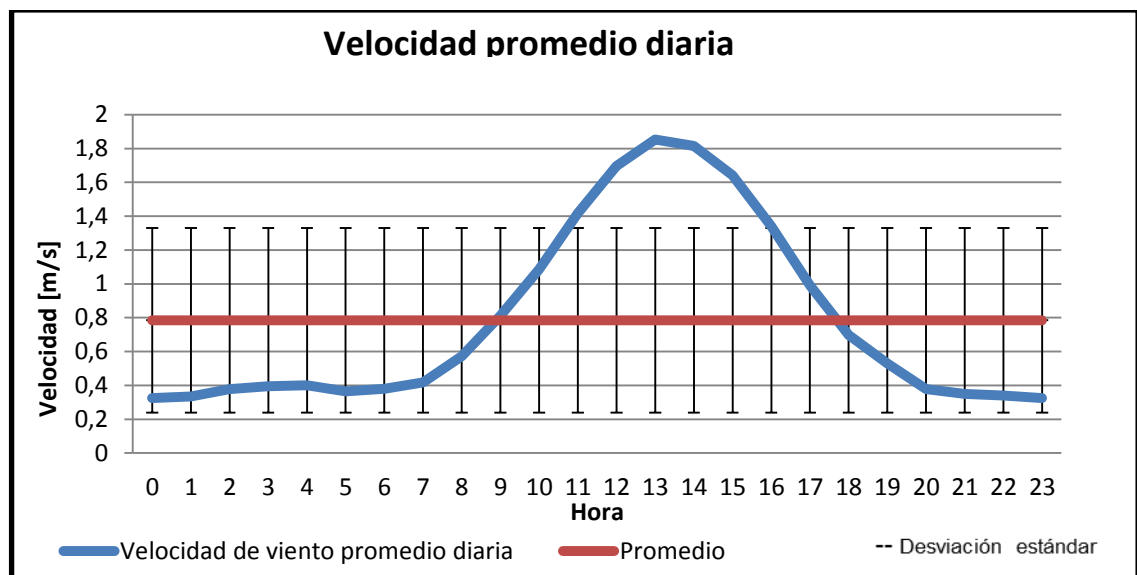
En la Tabla 3 del anexo F se muestra un resumen de la cantidad de horas de ocurrencia de velocidades basadas en los promedios obtenidos a 12 metros de altura. Esta tabla muestra las variaciones de viento ocurridas en los distintos meses del estudio.

La tabla anterior muestra que no existen variaciones muy altas entre las velocidades promedios de los distintos meses, los valores se mantienen equitativos con valor medio igual a 1 [m/s], lo que significa que a 12 metros de altura el viento no presenta grandes variaciones de velocidad.

4.4.3 Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Las variaciones mensuales de viento por horario promedio entre los valores máximos y mínimos obtenidos indican una tendencia entre los meses de agosto de 2010 hasta agosto de 2011 de aumentar el valor de velocidad promedio entre las 9:00 a.m. hasta las 5:00 p.m., llegando estos valores a sobrepasar los 1,8 [m/s]. Este lapso de horas es de bastante demanda de consumo de energía, lo que podría ser utilizado para la generación de electricidad.

Figura 28. Velocidad del viento promedio diaria, periodo agosto de 2010 hasta agosto de 2011.



Fuente: Los Autores

De acuerdo a la cantidad de datos analizados y el estudio realizado para obtener la figura anterior se observa que la velocidad promedio es de 0,78 [m/s] y desde las 8:00 p.m. hasta las 7:00 am la velocidad del viento se mantiene en calma, oscilando entre los 0,2 y 0,5 [m/s], pero a partir de las 7:00 a.m. hasta la 1:00 p.m. se observa un incremento progresivo hasta alcanzar los 1,85 [m/s] y luego comienza a decrecer hasta las 8:00 p.m. permaneciendo por debajo de la velocidad.

En la Tabla 5 del anexo F se muestra un resumen de la cantidad de horas de ocurrencia de velocidades basadas en los promedios obtenidos a 12 metros de altura. Esta tabla muestra las variaciones de viento ocurridas en los distintos meses del estudio.

La tabla muestra que no existen variaciones muy altas entre las velocidades promedios de los distintos meses, los valores se mantienen principalmente entre 0 y 1 [m/s].

4.4.4 Estudio de datos y resultados

Se observa la fuerte incidencia de los vientos diurnos y nocturnos en la zona debido al relieve. Los momentos de calma y ausencia de viento se dan en la noche y la presencia de los vientos regionales, o sea, los provenientes del noreste (vientos alisios) se dan en horas de la mañana y tarde. Los valores de desviación estándar mostrados en las figuras indican altos niveles de turbulencia, lo que se debe a la presencia de árboles, edificaciones cercanas y el fuerte relieve de la zona.

4.5 DENSIDAD DE POTENCIA

La densidad de potencia del viento es un factor que indica el potencial eólico real que hay en un lugar pues se calcula con los valores de velocidad, promedios de datos para un mes o año, densidad de aire y altura, factores que influyen directamente en la evaluación que se le dará a cada uno de los edificios en estudio.

La fórmula utilizada para el cálculo de densidad de potencia (Wind Power Density o WPD) se presenta a continuación

$$WPD = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\rho) * (v_i)^3 \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1.5)$$

Dónde:

WPD : Densidad de potencia [W/m^2].

ρ : Densidad del aire [kg/m^3].

n : Número de registros en el intervalo promedio.

$(v_i)^3$: Cubo del i-enésimo valor de velocidad de viento [m/s].

4.5.1 Edificio de Ingeniería Química

En la Tabla 2 del anexo F, se dan a conocer los valores obtenidos de densidad de potencia procedentes de los promedios de velocidad por mes para una altura de 12 [m] en el periodo de enero de 2004 hasta octubre de 2006. Al analizar los datos se encontró que la mayor energía se presentó en el mes de julio del año 2005, alcanzando valores de densidad de potencia que no superan los 3 [W/m^2]; lo cual indica una muy baja generación de energía a 12 metros de altura.

4.5.2 Edificio de Ingeniería Mecánica

En la Tabla 4 del anexo F, se dan a conocer los valores obtenidos de densidad de potencia procedentes de los promedios de velocidad por mes en el periodo de noviembre de 2011 hasta marzo de 2012. esta tabla muestra que la mayor energía se presentó en el mes de marzo del año 2012, alcanzando valores de densidad de potencia que no superan los 7 [W/m²]; lo cual indica una baja generación de energía a 12 metros de altura.

4.5.3 Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

En la Tabla 6 del anexo F, se dan a conocer los valores obtenidos de densidad de potencia procedentes de los promedios de velocidad por mes en el periodo de agosto de 2010 hasta agosto de 2011. La Tabla muestra que la mayor energía se presentó en el mes de marzo del año 2012, alcanzando valores de densidad de potencia que no superan los 2 [W/m²]; lo cual indica una baja generación de energía a 12 metros de altura.

4.5.4 Estudio de datos y resultados

El edificio de Ingeniería Mecánica presenta la mayor generación de energía eléctrica con una densidad de potencia de 6,52 [W/m²]; en comparación con el edificio de Ingeniería Química presenta una diferencia de 3,97 [W/m²] y con el edificio de Ingeniería Eléctrica la diferencia es de 4,72 [W/m²].

Los valores de la velocidad del viento a una altura de 12 metros no generarían la energía necesaria para encender un bombillo de 100 [W/m²], de aquí que se hacen proyecciones de altura las cuales sirven para incrementar los valores de la velocidad y así saber si con estas nuevas condiciones es factible una implementación del sistema eólico.

Se tomaron valores de altura correspondientes a 30 y 40 m, el primer valor se tomó a azar como punto de partida para saber en qué porcentaje se incrementaría el valor de la velocidad y de este modo seguir incrementando hasta poder obtener un valor al menos del 50% sobre el original. La última altura referenciada muestra este valor de incremento y en este punto se dejó de aumentar basándose en que la Universidad Industrial de Santander se encuentra en cercanías con El Batallón Caldas y si se sobrepasa esta altura posiblemente las restricciones por parte de ellos produzcan algún problema.

4.6 CARACTERÍSTICAS DEL VIENTO A 30 Y 40 METROS DE ALTURA

Para observar las distintas variaciones que se presentan en la velocidad del viento y en la densidad de potencia a una altura mayor a la ya estudiada se tendrá en cuenta la Ley exponencial de Hellmann, el cual utiliza como velocidad de referencia la registrada a 12 metros de altura:

$$v = v_{ref} * \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^{\alpha} \quad (6)$$

Donde:

v : Velocidad proyectada

v_{ref} : Velocidad de referencia

h : Altura proyectada

h_{ref} : Altura de referencia

α : Exponente de Hellmann⁵

A continuación se presenta una tabla donde se indican los valores correspondientes al exponente de Hellmann según la rugosidad del terreno que presenta el campus universitario:

⁵ El exponente de Hellmann es un coeficiente que varía con la rugosidad del terreno

Tabla 6. Valores de α para diferentes tipos de terrenos.

Descripción del terreno	$h_0[\times 10^{-2}m]$	α
Llano muy liso con hielo o lodo	0,01	-
Superficie nevada	3,00	0,10
Campo barbechado	30,00	0,13
Plantaciones	50,00	0,19
Suburbios	1500	0,32

Fuente: Autores - Apuntes Energía y Ambiente – Energía Eólica - César Acevedo

Basándose en la tabla anterior, el valor que más se adecua a las características del terreno del campus universitario es el equivalente a 0,32.

Teniendo los datos completos se procede a realizar un estudio para determinar cuál de estos edificios proporciona mayor velocidad del viento y densidad de potencia de acuerdo con la altura.

4.6.1 Edificio de ingeniería Química

Se realiza el cálculo de la velocidad media mensual a las alturas de 30 y 40 m, esto se hace aplicando la fórmula (6) señalada en el ítem 4.6 la cual se insertó en una hoja de cálculo de Excel. Los cálculos se realizaron para las 24 horas de cada día de cada mes para finalmente presentar la siguiente tabla resumida mes a mes con los valores correspondientes a las nuevas alturas.

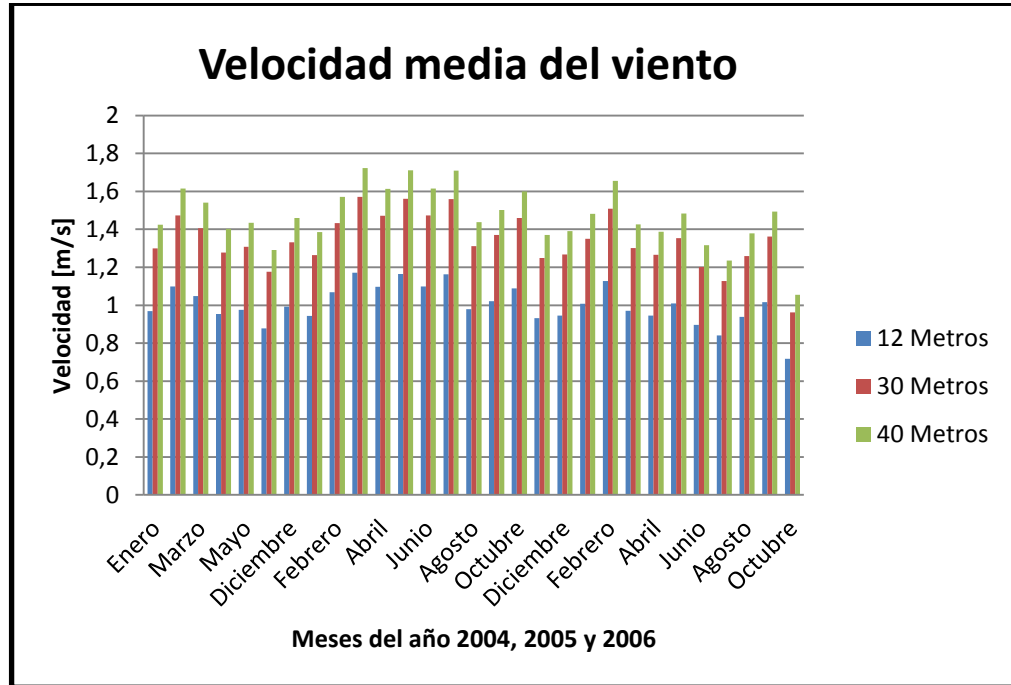
Tabla 7. Velocidad media mensual del viento para las diferentes alturas.

VELOCIDAD MEDIA MENSUAL DEL VIENTO				
meses	año	12 Metros	30 Metros	40 Metros
Enero	2004	0,969041096	1,2992209	1,424503084
Febrero		1,098589342	1,472909909	1,6149407
Marzo		1,047913863	1,404967857	1,540447083
Abril		0,95340751	1,278260508	1,401521509
Mayo		0,975908479	1,308428195	1,434598227
Junio		0,877805695	1,176899008	1,290385852
Diciembre		0,992477064	1,330642167	1,458954264
Enero	2005	0,943768328	1,263484367	1,385320524
Febrero		1,06872093	1,432864483	1,571033744
Marzo		1,171885895	1,571180679	1,722687592
Abril		1,097129187	1,470952238	1,612794253
Mayo		1,164339909	1,561063561	1,711594893
Junio		1,098168761	1,472346025	1,614322441
Julio		1,163180593	1,559509233	1,709890684
Agosto		0,978156124	1,311441676	1,437902294
Septiembre		1,021916168	1,370112009	1,502230131
Octubre		1,088127544	1,458883481	1,59956172
Noviembre		0,931781437	1,249265818	1,369730898
Diciembre		0,945480379	1,267632378	1,389868522
Enero	2006	1,007537313	1,350833871	1,481093027
Febrero		1,127669421	1,509403516	1,654953337
Marzo		0,970524899	1,301210277	1,426684294
Abril		0,945	1,265216308	1,387219474
Mayo		1,008855989	1,352601857	1,483031498
Junio		0,895910987	1,201173288	1,317000868
Julio		0,840417227	1,126771229	1,235424315
Agosto		0,938452221	1,258209527	1,379537038
Septiembre		1,015830986	1,361953433	1,493284834
Octubre		0,717025172	0,961335997	1,05403638

Fuente: Los autores.

Con los datos de la tabla anterior se realiza un histograma en el cual se ve una comparación de velocidad media del viento a todas las alturas analizadas.

Figura 29. Comparación de la velocidad media del viento



Fuente: Los autores.

Se hace el análisis teniendo en cuenta la densidad de potencia para las diferentes alturas – periodo enero de 2004 a octubre de 2006.

Tabla 8. Tabla de las diferentes densidades de potencia de acuerdo con la altura – periodo enero de 2004 a octubre de 2006.

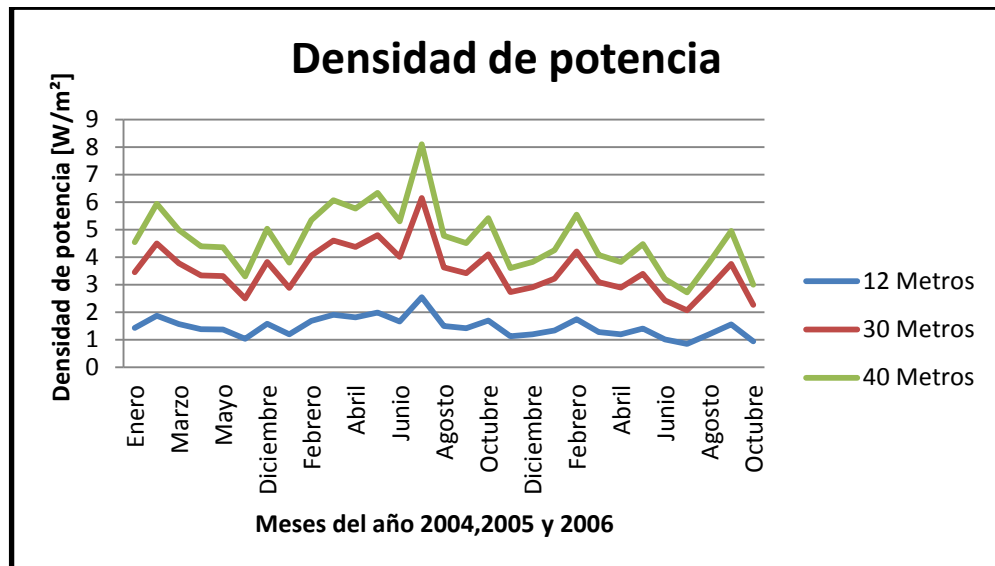
EDIFICIO INGENIERÍA QUÍMICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s] (a 12 m de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s] (a 30 m de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s] (a 40 m de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]
	2004	0,969041096	1,432179299	1,2992209	3,451594755	1,424503084	4,549471905
Enero		1,098589342	1,869648167	1,472909909	4,505907753	1,6149407	5,939138916
Febrero		1,047913863	1,568520435	1,404967857	3,780180952	1,540447083	4,982574219
Marzo		0,95340751	1,383200487	1,278260508	3,333554359	1,401521509	4,39388543
Abril		0,975908479	1,374480303	1,308428195	3,312538456	1,434598227	4,366184826
Mayo		0,877805695	1,040592375	1,176899008	2,507858609	1,290385852	3,305553836
Junio		0,992477064	1,585846446	1,330642167	3,821937155	1,458954264	5,037612161
Diciembre							

EDIFICIO INGENIERÍA QUÍMICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s] (a 12 m de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s] (a 30 m de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s] (a 40 m de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]
	2005	0,943768328	1,199834783	1,263484367	2,887410012	1,385320524	3,805832279
Enero							
Febrero		1,06872093	1,68331812	1,432864483	4,056846791	1,571033744	5,347241438
Marzo		1,171885895	1,91197302	1,571180679	4,607911908	1,722687592	6,073588373
Abril		1,097129187	1,814069102	1,470952238	4,371960552	1,612794253	5,762586027
Mayo		1,164339909	1,993786078	1,561063561	4,805083815	1,711594893	6,33347637
Junio		1,098168761	1,66725884	1,472346025	4,018143449	1,614322441	5,296227406
Julio		1,163180593	2,550301169	1,559509233	6,146301756	1,709890684	8,10130654
Agosto		0,978156124	1,503444656	1,311441676	3,623346387	1,437902294	4,775853994
Septiembre		1,021916168	1,419117583	1,370112009	3,42011563	1,502230131	4,507979956
Octubre		1,088127544	1,705186206	1,458883481	4,10954953	1,59956172	5,416707771
Noviembre		0,931781437	1,136460242	1,249265818	2,738903022	1,369730898	3,610088448
Diciembre	0,945480379	1,206239589	1,267632378	2,907073326	1,389868522	3,831750064	
Enero	2006	1,007537313	1,33811815	1,350833871	3,224904586	1,481093027	4,25067653
Febrero		1,127669421	1,748598387	1,509403516	4,207231554	1,654953337	5,54546032
Marzo		0,970524899	1,283783324	1,301210277	3,093956036	1,426684294	4,078076096
Abril		0,945	1,205215874	1,265216308	2,900549431	1,387219474	3,823151061
Mayo		1,008855989	1,40959662	1,352601857	3,397169826	1,483031498	4,477735593
Junio		0,895910987	1,009615158	1,201173288	2,433202594	1,317000868	3,207151369
Julio		0,840417227	0,857971585	1,126771229	2,067737066	1,235424315	2,725439212
Agosto		0,938452221	1,196204483	1,258209527	2,882888423	1,379537038	3,79987247
Septiembre		1,015830986	1,55869254	1,361953433	3,756495433	1,493284834	4,951354853
Octubre		0,717025172	0,943657228	0,961335997	2,274242018	1,05403638	2,997628894

Fuente: Los autores.

En la tabla anterior se muestran las diferentes densidades de potencia de acuerdo con la altura en el periodo de enero de 2004 a octubre de 2006.

Figura 30. Comparación de la velocidad media del viento -- periodo enero de 2004 a octubre de 2006.



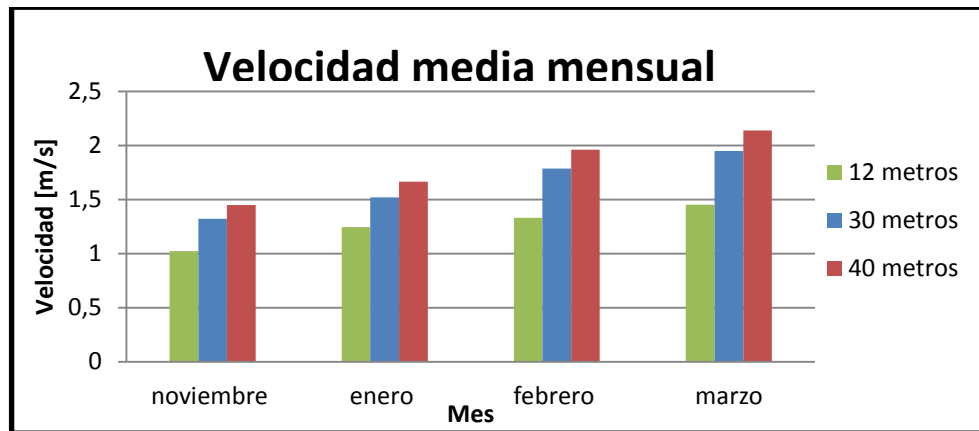
Fuente: Los autores.

4.6.2 Edificio de ingeniería Mecánica

Análisis para la velocidad media mensual del viento para las diferentes alturas.

En la tabla 1 del anexo G se muestran los diferentes valores de velocidad media mensual del viento para las diferentes alturas en el periodo de noviembre de 2011 a marzo de 2012.

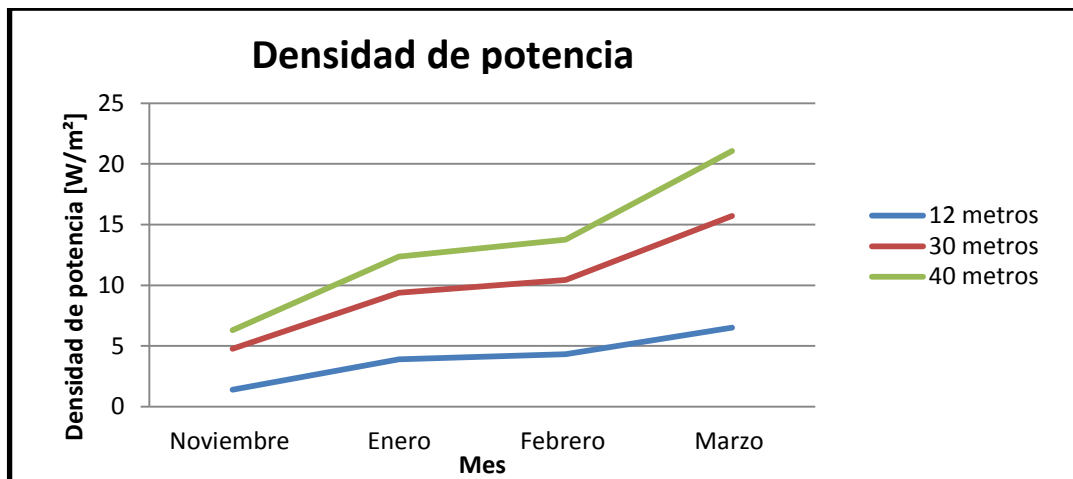
Figura 31. Comparación de la velocidad media del viento - periodo de noviembre de 2011 a marzo de 2012.



Fuente: Los autores.

Análisis teniendo en cuenta la densidad de potencia para las diferentes alturas. En la tabla 2 del anexo G se muestran las diferentes densidades de potencia de acuerdo con la altura en el periodo de noviembre de 2011 a marzo de 2012.

Figura 32. Comparación de la densidad de potencia para las diferentes alturas – periodo noviembre de 2011 a marzo de 2012.



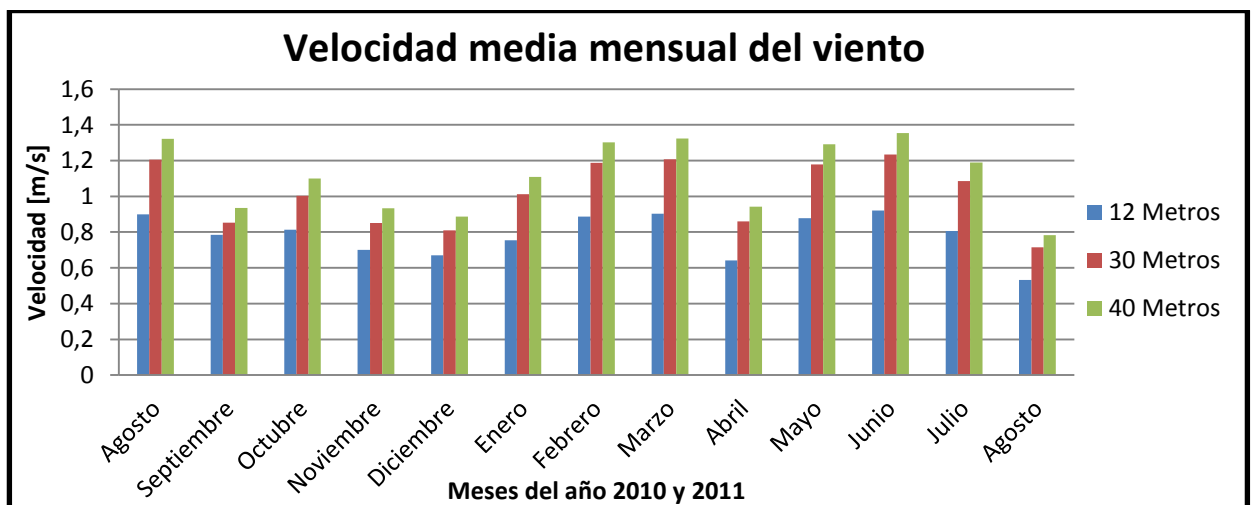
Fuente: Los autores.

4.6.3 Edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Análisis para la velocidad media mensual del viento para las diferentes alturas.

En la tabla 3 del anexo G se muestran los diferentes valores de velocidad media mensual del viento para las diferentes alturas en el periodo de agosto de 2010 a agosto de 2011.

Figura 33. Comparación de la velocidad media del viento – periodo agosto de 2010 a agosto de 2011.

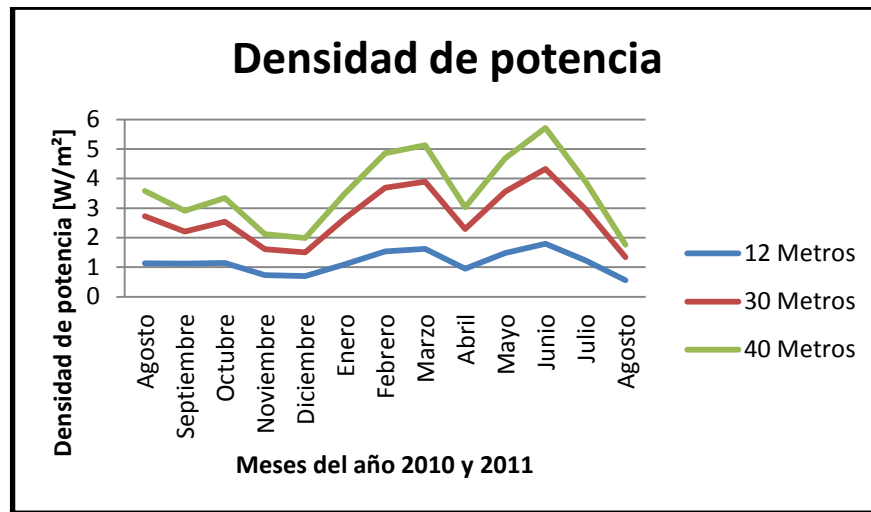


Fuente: Los autores.

Análisis teniendo en cuenta la densidad de potencia para las diferentes alturas.

En la tabla 4 del anexo G se dan a conocer las diferentes densidades de potencia de acuerdo con la altura en el periodo de agosto de 2010 a agosto de 2011.

Figura 34. Comparación de la densidad de potencia para las diferentes alturas – periodo agosto de 2010 a agosto de 2011.



Fuente: Los autores.

4.6.4 Análisis de datos y resultados

Se observa un incremento considerable tanto en velocidad como en densidad de potencia a 40 metros de altura, sin embargo la implementación de aerogeneradores en cualquier de estos tres lugares no es la más adecuada ya que los vientos sirven solo para un arranque pero no para mantener el aerogenerador funcionando a su capacidad nominal, también la densidad de potencia es menor a los $63 \text{ [W/m}^2\text{]}$ siendo este el valor mínimo para pequeños proyectos de este tipo de acuerdo con lo establecido en la UPME [13].

4.7 ALTERNATIVAS DE UBICACIONES PARA LA INSTALACIÓN

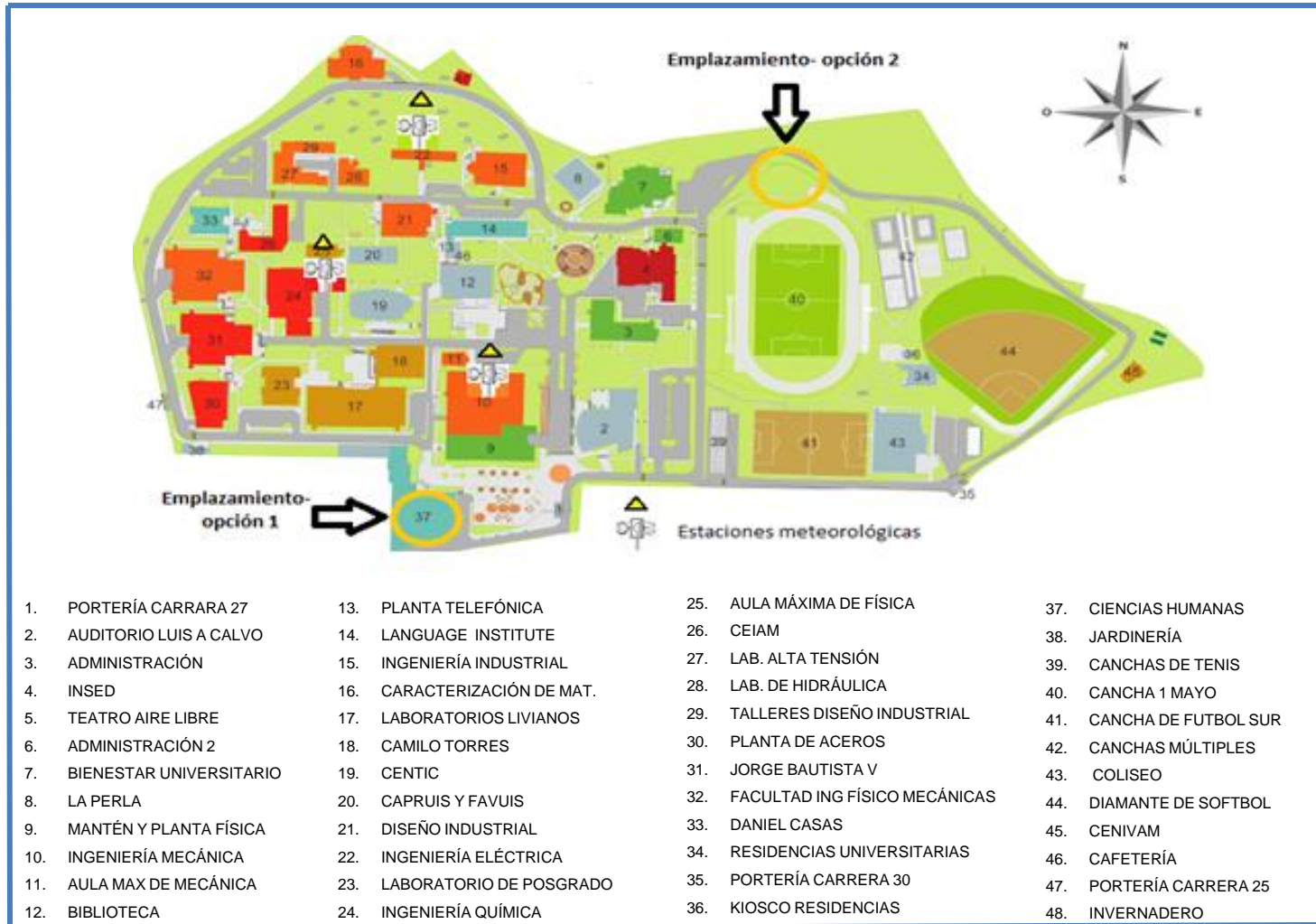
La selección de un lugar adecuado para la instalación del aerogenerador eólico se realizó a través de visitas en las diferentes áreas del campus universitario, para evidenciar las ventajas y desventajas. En base a lo anterior se prosigue a realizar la descripción de lo observado.

No se encuentran muchos lugares planos ni despejados; se presenta altos niveles de turbulencia en la velocidad del viento producidos por los edificios y las copas de los árboles.

El lugar de emplazamiento debe ser lo más despejado posible, ya que los aerogeneradores eólicos son afectados por cualquier obstáculo en el terreno.

Según los datos y su respectivo análisis existen en la Universidad Industrial de Santander dos lugares factibles para la ubicación e instalación del aerogenerador eólico, en base al análisis de las corrientes de aire: el edificio de Ciencias Humanas el más alto de la universidad sería una muy buena opción, pues bien se sabe que a mayor altura mayores velocidades de viento; el segundo lugar viable es en la parte nororiental de la universidad donde se encuentra la zona deportiva siendo esta la más despejada en cuanto a edificios pero con la presencia de algunos árboles y matorrales.

Figura 35. Lugares de posible instalación.



Fuente: Los Autores - Portal web UIS

4.7.1 Selección del lugar

Las diferentes variables a considerar para la implementación de turbinas eólicas son: las características topográficas del lugar, la ausencia de vegetación y el acceso hacia la zona de instalación. El factor más importante es el potencial eólico que se puede obtener del lugar, que en este caso sería muy bajo para una altura de 12 [m], por esta razón la selección se realiza bajo el siguiente criterio: Hallar un

terreno lo más despejado posible para la instalación de los aerogeneradores eólicos, y aumentar la altura de la torre.

El lugar que cumple con este criterio es la opción 2, siendo uno de los puntos con mayor altura respecto al mar dentro del campus universitario, más despejado en cuanto a edificaciones y con un buen acceso hacia esta zona para la instalación turbinas de media y baja potencia. Cuenta con un área aproximada de más de 400 [m²] en ese lugar, para la incorporación de esta tecnología.

Figura 36. Emplazamiento- opción 2, vista de la zona nororiental de la universidad, en dirección sur.



Fuente: Los autores.

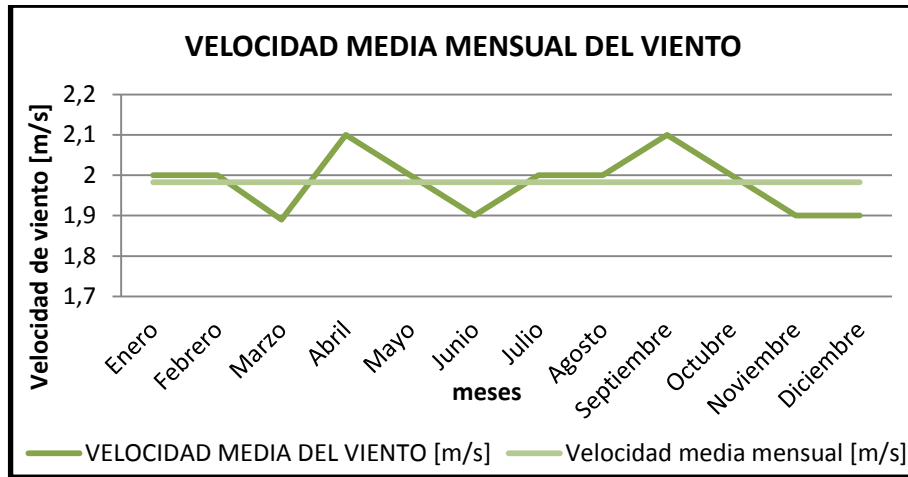
Figura 37. Emplazamiento- opción 2, vista de la zona nororiental de la universidad, en dirección noroeste.



Fuente: Los autores.

En la búsqueda de una solución mejor, se encontró en el informe “Estudio sobre el clima urbano en Bucaramanga” las gráficas de los datos registrados durante el año de 1996 por la estación meteorológica del IDEAM ubicado en la zona nororiental de la universidad específicamente al lado norte de la cancha de futbol 1º de Mayo, con una altura de 10 [m], y que dejó de operar ya hace varios años. A continuación se muestran las gráficas y las tabulaciones correspondientes de la estación meteorológica del IDEAM.

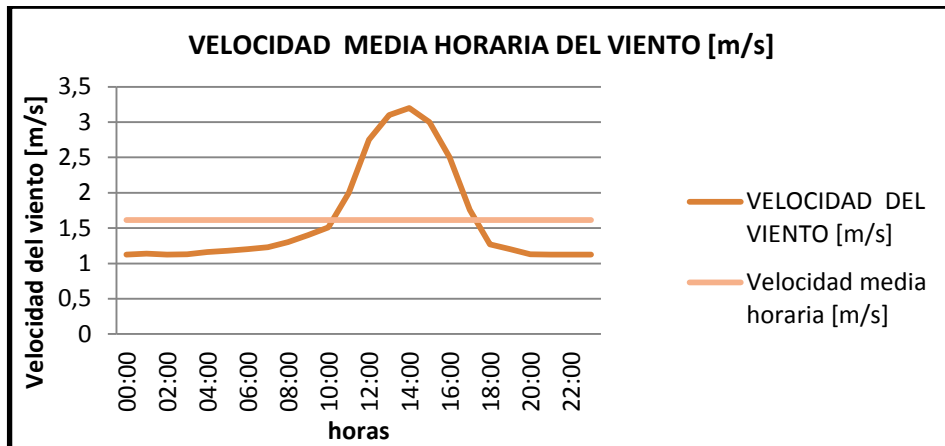
Figura 38. Velocidad media mensual del viento- estación meteorológica del IDEAM- UIS.



Fuente: Estudio sobre clima urbano en Bucaramanga-2001

En la tabla 5 del anexo G se dan a conocer los datos de velocidad media mensual del viento para la estación meteorológica del IDEAM- UIS, como complemento a la Figura 38.

Figura 39. Velocidad media horaria del viento- estación meteorológica del IDEAM- UIS.



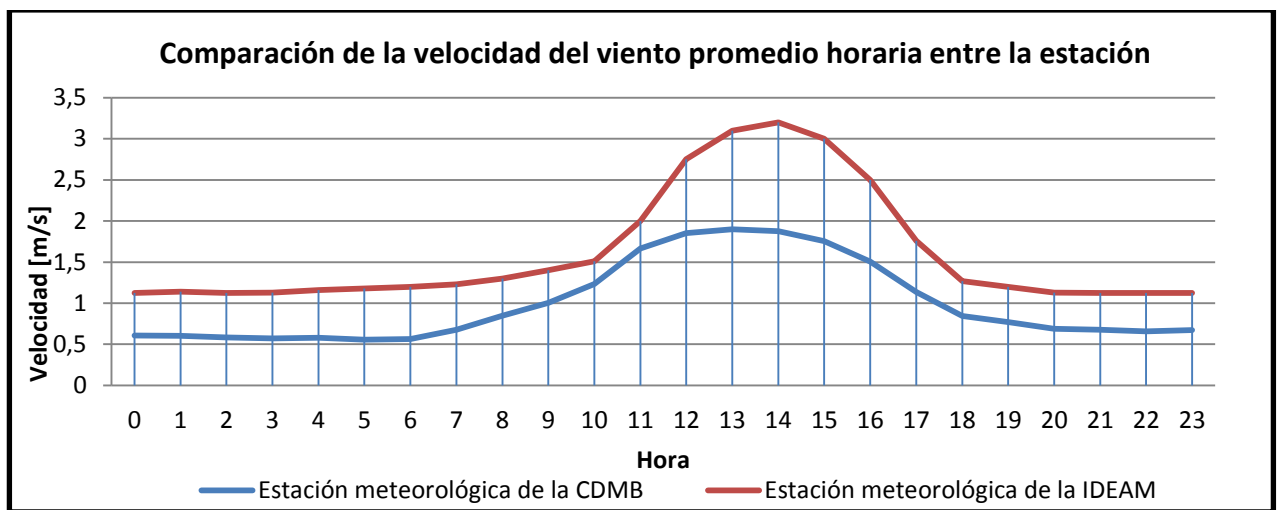
Fuente: Estudio sobre clima urbano en Bucaramanga-2001

En la tabla 6 del anexo G se dan a conocer los datos de velocidad media horaria del viento para la estación meteorológica del IDEAM- UIS, como complemento de la Figura 39.

Los datos registrados para el año de 1996 por la estación meteorológica del IDEAM presentan un incremento alrededor del 60% en comparación con los presentados por la estación ubicada en el edificio de Ingeniería Química, como se observa en la Figura 40. Por tanto para esta zona la densidad de potencia aumenta en una mayor proporción en comparación con el incremento de la velocidad presentada.

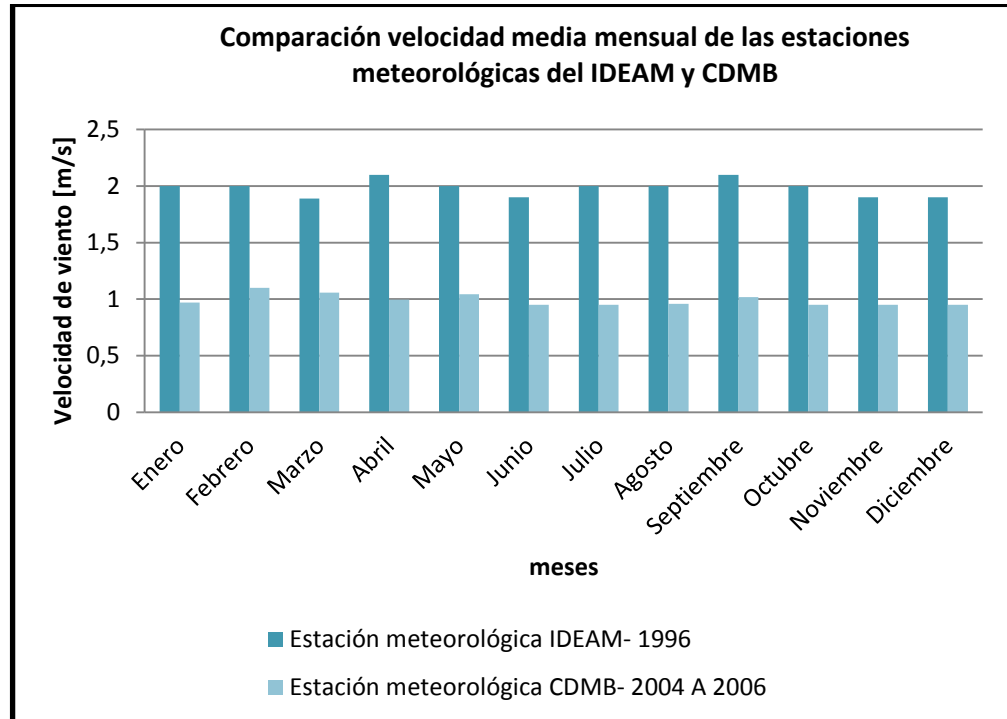
A continuación se presenta una gráfica comparativa entre las estaciones meteorológicas de la CDMB y el IDEAM.

Figura 40. Comparación de los datos de velocidad media horaria entre la estación meteorológica de la CDMB y el IDEAM.



Fuente: Los autores.

Figura 41. Comparación de la velocidad media mensual de las estaciones meteorológicas del IDEAM (datos tomados en el año de 1996) y la CDMB (datos tomados en el periodo 2004- 2006).



Fuente: Los autores.

De la figura anterior se observa un incremento significativo (aprox. 100%) mensual, lo que mejora enormemente la posibilidad de captación de energía en esta zona.

Adicionalmente en este lugar se debe implementar labores relacionadas con la jardinería, poda de arbustos y árboles, en intervalos frecuentes de tiempo para no tener obstáculos que frenen la circulación de aire y así el maximizar el aprovechamiento del recurso eólico.

4.8 ALTURA FINAL DE LA TORRE EÓLICA

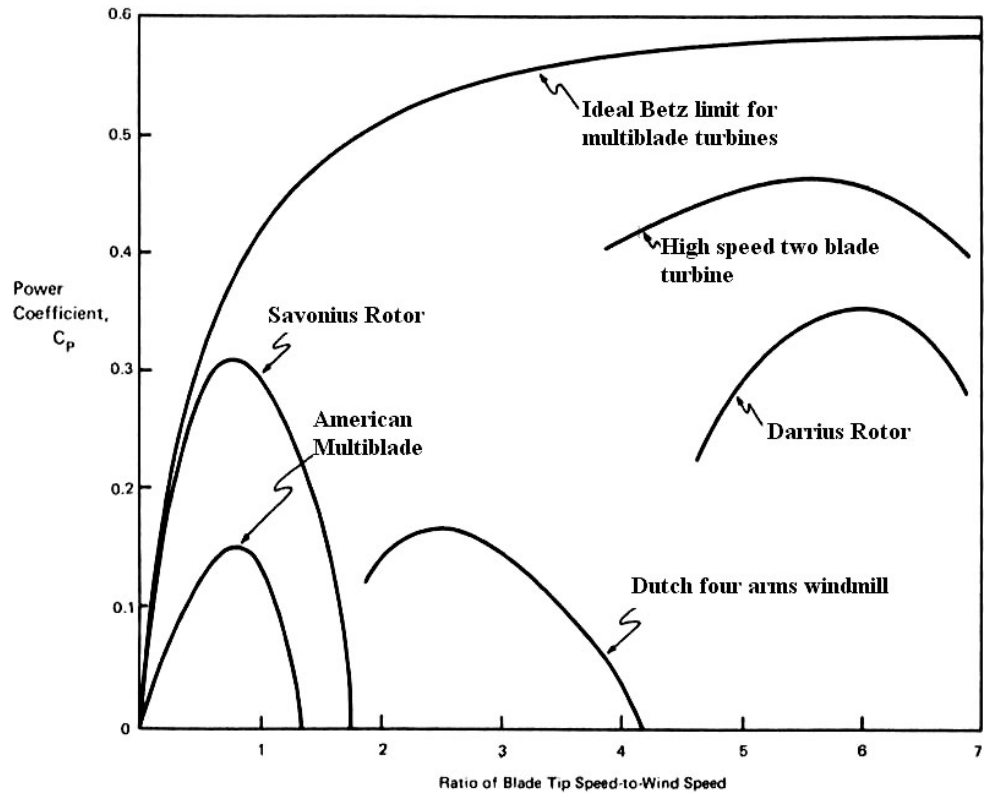
Con los datos obtenidos en el estudio realizado se puede establecer que a mayor altura mayor velocidad del viento para esto es necesario estudiar la torre eólica por sobre los 30 metros de altura, con la finalidad de alcanzar valores de densidad de potencia más elevados.

Como se muestra en el ítem 4.5.4 se toma como altura final de la torre 40 m ya que esta logra un incremento de velocidades del 50% sobre la original, también se obtienen mayores valores de densidad de potencia en la zona escogida. La densidad de aire calculada se realizó en base a la fórmula propuesta por la CIPM en el año de 2007 para el cálculo de densidad del aire [13]. Se tomó la presión atmosférica registrada por la estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica, el proceso de cálculo se observa en el Anexo J. Los valores de densidad de potencia obtenidos a 40 metros de altura muestran una mejora notable tal como se muestra en la sección 4.6. Los valores de densidad de potencia mes a mes se encuentran en el Anexo G.

4.9 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA ENTREGADA POR LOS AEROGENERADORES.

De acuerdo con la Figura 42 se estima los tipos de aerogeneradores que pueden ser favorables de acuerdo a la velocidad promedio de la zona nororiental escogida como apta para la implementación y el coeficiente de potencia (C_p) correspondiente a la máquina.

Figura 42. Relación de velocidad de aspa -velocidad de viento contra coeficiente de potencia (C_p).



Fuente: http://panemona.com.ar/parametros-del-rotor-savonius-introduccion--savonius-p_120.htm

Después de analizar la gráfica anterior se optó por analizar los aerogeneradores tipo Multipala y los Tripala, el primero de ellos porque tiene las condiciones de arranque bajas lo cual es muy conveniente para las condiciones de los vientos encontrados, pero tienen un inconveniente; el coeficiente de potencia es el más bajo de todos. El segundo se escoge porque su coeficiente de potencia es bueno y los arranques no son tan altos para las condiciones del proyecto.

A partir de esto se procede a escoger algunos aerogeneradores comerciales pertenecientes a diferentes empresas, a estos se les realiza los cálculos para

saber cuánta potencia nos pueden entregar al igual que el factor de capacidad. Se trabajó con diez tipos de aerogeneradores los cuales se nombran a continuación:

- Stealth Gen D400
- SP
- Rutland 503
- Rutland 913
- Tulipower
- WB 15
- Sviab
- Ventur
- Ampair Pacific 0,3
- Ampair Pacific 0,1

Para realizar estos cálculos se recurre a las fichas técnicas de cada aerogenerador que se encuentran en el Anexo K, donde aparecen las curvas de potencia de los aerogeneradores proporcionados por el fabricante.

El proceso de análisis se realiza mediante un modelo formulado por los autores en Excel en la cual se ingresan los datos de las velocidades de arranque, la potencia nominal, el área de barrido y el valor de potencia para diferentes valores de velocidad, además se tiene en cuenta el diámetro del rotor para determinar el número de aerogeneradores que se pueden instalar en la zona escogida de acuerdo a el área de la misma.

Ejecutando el modelo se obtiene la cantidad de potencia que genera cada aerogenerador y el factor de capacidad de los mismos de acuerdo a las condiciones del viento. Con esto se llega a determinar cuáles son las mejores opciones de turbinas para la solución del proyecto.

El cálculo de potencia se realizó en tres pasos:

- La primera parte consiste en determinar los factores de escala (c) y forma (k) para las velocidades viento registradas por el IDEAM. Estos factores se calcularon mediante el método de mínimos cuadrados aplicado a la distribución de Weibull.
- El segundo paso es determinar de nuevo estos factores proyectados a una altura de 40 metros con la función de densidad de probabilidad respectiva.
- El tercer y último paso es, en base a las características del aerogenerador, calcular la potencia media, Energía entregada durante un año, el factor de capacidad y las horas equivalentes de trabajo al año según su potencia nominal.

En el Anexo L se presentan las memorias de cálculo con los respectivos pasos para cada aerogenerador mencionado y en la tabla 9 se presenta un resumen de las potencias generadas por cada aerogenerador, el número de ellos a instalar y el factor de capacidad, las mejores condiciones se dan para el Tulipower y el Stealth Gen D400.

Tabla 9. Calculo de potencia generada y factor de capacidad para aerogeneradores

NOMBRE AEROGEN	NUMERO DE AEROGEN	POTENCIA MEDIA ENTREGADA [W]	FACTOR DE CAPACIDAD
SP	16	155,8065224	2,419%
Rutland 503	40	31,50957258	3,151%
WB 15	16	128,5543952	2,678%
Sviab	12	150,5199391	1,672%
Ventur	20	56,33925585	0,563%
Ampair Pacific 0,3	20	73,49221301	1,225%
Tulipower	4	334,5965032	3,346%
Rutland 913	22	80,58023211	4,070%
Stealth Gen D400	20	158,7395883	1,984%
Ampair Pacific 0,1	20	26,48033279	1,324%

Fuente los autores

En la tabla anterior podemos ver que los aerogeneradores que mejores potencias medias entregan son el]Tulipower y el Stealth Gen D400 por lo que se procede a analizar un poco más acerca de estos.

La disposición en la instalación de aerogeneradores Tulipower sería en línea y perpendicular a la dirección dominante del viento (NNE), el número máximo de aerogeneradores con diámetro de 5 metros es de 4, debido a las dimensiones del área (10X40 [m]), con espaciamentos entre turbinas de 10 metros.

La potencia entregada por los cuatro aerogeneradores sería de 334,6 [W/h] y energía de 2931[kWh/año].

La disposición en la instalación de aerogeneradores Stealth Gen D400 sería en línea y perpendicular a la dirección dominante del viento (NNE), el número máximo de aerogeneradores con diámetro de 1 metros es de 20, debido a las dimensiones del área (10X40 [m]), con espaciamentos entre turbinas de 2 metros.

La potencia entregada por los 20 aerogeneradores sería de 317,5 [W/h] y energía de 2781[kWh/año].

Los valores de potencia entregada por los aerogeneradores que se encuentran como las mejores opciones no son favorables para la implementación de turbinas eólicas en la Universidad Industrial de Santander debido que se son muy bajas. Otro criterio que se toma para saber si es factible el proyecto está basado en los valores de velocidad promedio ya que si bien es cierto pueden llegar a proporcionar un arranque no mantienen el aerogenerador funcionando a más de un 3% de su capacidad nominal.

5. PRESUPUESTO

Para la realización de presupuesto se usó una plantilla en Excel la cual entrega los valores unitarios de la instalación de los aerogeneradores a igual que el presupuesto general aproximado de los costos para la implementación del sistema dentro de la Universidad Industrial de Santander.

El presupuesto general aproximado se presenta en tres partes que son:

Aerogenerador Tipo: En esta parte se tuvo en cuenta los valores unitarios el costo del aerogenerador, accesorios, herramientas, cuadrilla para instalación y transporte. Estos valores son un estimado del costo.

Mástil de 40 m: Para esta parte se tuvo en cuenta en valores unitarios el costo de la construcción y transporte del mástil, herramientas, accesorios, placa de tierra (estimado de acuerdo a costos que aparecen en internet y que coinciden con una aproximación de las dimensiones del proyecto.), cuadrilla de instalación y cantidad de cable de guarda que puede necesitarse.

Cableado Eléctrico: Para los costos unitarios de esta parte se tuvo en cuenta herramientas, accesorios, cuadrilla para cableado, transporte, batería solar, regulador y cable necesario (el calibre y la cantidad son aproximados que se tomaron de información de internet).

A continuación se presenta el presupuesto general aproximado para las dos mejores opciones de aerogeneradores encontradas.

El presupuesto 1 pertenece al aerogenerador Tulipower.

PRESUPUESTO 1. INSTALACIÓN SISTEMA EÓLICO		
DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
Aerogenerador Tipo 1	145.920.000,00	583680000
Mástil de 40 metros	165559968	662239872
Cableado Eléctrico	15641624	62566496
Subtotal		1308486368
TOTAL COSTO DIRECTO		1308486368
A.I.U (18%)		235527546
VALOR TOTAL		1544013914
IVA (16% SOBRE UTILIDAD)		10467891
GRAN TOTAL		1554481805

El presupuesto 2 pertenece al aerogenerador Stealth Gen D400

2.

PRESUPUESTO 2. INSTALACIÓN SISTEMA EÓLICO		
DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL
Aerogenerador Tipo 2	716.800.000,00	14.336.000.000,00
Mástil de 40 metros	827799840	2.069.499.600,00
Cableado Eléctrico	156416240	3.128.324.800,00
Subtotal		19.533.824.400,00
TOTAL COSTO DIRECTO		19.533.824.400,00
A.I.U (18%)		3.516.088.392,00
VALOR TOTAL		23.049.912.792,00
IVA (16% SOBRE UTILIDAD)		156.270.595,00
GRAN TOTAL		23.206.183.387,00

CONCLUSIONES

Acorde con los objetivos trazados para la realización del presente proyecto de investigación, se logró recopilar la información local y se realizó el cálculo de los potenciales de generación de energía eléctrica a partir del viento, estableciendo mediante los puntos de mayor incidencia de corrientes de aire la opción más adecuada para la instalación de aerogeneradores dentro de las instalaciones del campus principal de la UIS.

Desde la óptica de los resultados es importante la contribución a la reducción del impacto ambiental debido al uso desmedido de las fuentes de energía a base de combustibles fósiles altamente contaminantes, este propósito cobra especial importancia si se resalta la necesidad de generar tendencias y de satisfacer las necesidades de la sociedad desde una comunidad académica con la capacidad y responsabilidad de actuar como agente de cambio mediante la aplicación de tecnológicas en los diversos ámbitos de desempeño de las nuevas generaciones de profesionales.

La recopilación de los datos de los vientos y su posterior análisis, permitieron conocer las características eólicas presentes en el campus donde se encontraron velocidades de viento de baja intensidad, lo cual supone una restricción para la adopción de las turbinas eólicas como sustituto energético importante. Esta situación en razón a que en el lugar propuesto como el mejor emplazamiento la velocidad media anual es de 2 [m/s], circunstancia que no permite aprovechar todo el potencial de los aerogeneradores que mejor se adaptan a las condiciones locales.

Debido al relieve en la zona se observa la fuerte incidencia de los vientos diurnos y nocturnos. Las franjas de tiempo con muy bajas velocidades de viento o ausencia del mismo se encuentran en horas nocturnas y la presencia de los

vientos regionales, o sea, los provenientes del noreste se presentan en horas de la mañana y la tarde. En la zona escogida como mejor emplazamiento, la dirección de viento que predomina es el Noreste, esta dirección se presenta durante todo el año con poca variación, por otro lado la dirección sur es el que trae las mayores velocidades. Los valores de desviación estándar obtenidos y presentados en el presente documento indican altos niveles de turbulencia ocasionada por los árboles, las edificaciones cercanas y el fuerte relieve de la zona.

Los meses del año donde se presentan mayores velocidades del viento son febrero, marzo y mayo, perteneciendo los dos primeros a uno de los periodos secos del año y el otro a uno de los periodos lluviosos del año. Los tiempos de baja velocidad de viento se presentan los meses de junio, noviembre y diciembre. El primero pertenece al inicio de uno de los periodos secos del año y los otros dos meses corresponden a la transición de un periodo lluvioso a seco. Durante los meses no mencionados se mantiene una velocidad media anual de 2 [m/s], con poca variación.

Las horas en donde se presentan velocidades de viento con mayor potencial de generación de energía son entre las 10:00 a.m. y las 5:30 p.m. y el lugar más idóneo para la instalación de aerogeneradores es la zona nororiental ubicada en uno de los puntos con mayor altura sobre el nivel del mar, lo que permite una circulación frecuente de viento. Se observa un incremento considerable tanto en velocidad como en densidad de potencia a 40 metros de altura.

Teniendo en cuenta que la recuperación de la inversión por cuenta de la energía limpia autogenerada se lograría a largo plazo, al implementar un proyecto para la explotación del recurso eólico se mantiene una expectativa a nivel experimental y demostrativo en un escenario propicio para investigar sobre nuevas y mejores aplicaciones del viento. Es decir que la generación de energía eléctrica mediante turbinas eólicas no resulta una alternativa suficiente como sustituto energético, sin

embargo esta circunstancia puede mejorar en la medida que se desarrollen dispositivos de generación más eficientes y acordes con las condiciones locales.

RECOMENDACIONES

La recopilación de la información de las estaciones meteorológicas permitió la recopilación de datos desde 1996 sin embargo este proceso de logro con cierta dificultad debido a los requisitos y los tiempos de respuesta del IDEAM. En este sentido se sugiere mantener la monitorización local con equipos propios de la UIS. Un referente importante para la información analizada corresponde al informe sobre el clima urbano de Bucaramanga.

REFERENCIAS

- [1] «Renewables 2012 Global Status Report,» 2012.
- [2] EEPPM, «Exploración de Energías Alternativas en la cuenca Magdalena-Cauca,» Medellín, 2006.
- [3] G. G. García, Energías del Siglo XXI de las energías fósiles a las alternativas, p. 193.
- [4] L. M. R. Pepa Mosquera Martínez, Empresa y Energías Renovables, FC, 2006, p. 117.
- [5] L. M. R. Pepa Mosquera Martínez, Empresa y Energías Renovables, FC, 2006, p. 119.
- [6] Renewables 2011 Global Status Report, 2012, p. 24.
- [7] ESMAP, «Review of Policy Framework for Increased Reliance on Wind Energy in Colombia,» 2010.
- [8] J. E. Reinhold Lazar, «Estudio sobre clima urbano en Bucaramanga,» Bucaramanga, 2001.
- [9] IDEAM, ATLAS CLIMATOLÓGICO NACIONAL_Tercera Parte, 2010.
- [10] SIGAM, Agenda Ambiental del Municipio de Bucaramanga, 2002.
- [11] E. G. J. S. L. M. N. O. Universidad Industrial de Santander, *Seminario de Investigación en Energía Eólica*, Bucaramanga, 2010.
- [12] J. E. Reinhold Lazar, «Estudio sobre clima urbano en Bucaramanga,» Bucaramanga, 2001.

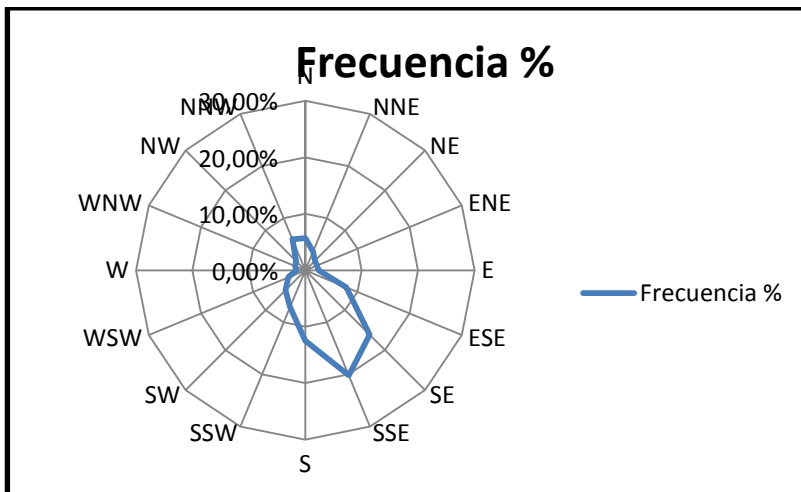
- [13] J. E. Reinhold Lazar, «Estudio sobre clima urbano en Bucaramanga,» Bucaramanga, 2001.
- [14] UPME, Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia, p. 75.
- [15] R. S. D. M. G. a. K. F. A Picard, Revised formula for the density of moist air (CIPM 2007), 2008.
- [16] M. G. G. R. Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Bolivariana, *Evaluación del Efecto Estela en un Parque Eólico*, Maracay, 2010.
- [17] REN21, «Renewables 2011 Global Status Report,» 2011.
- [18] Consorcio Energético CORPOEMA, Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia, Bogotá, 2010.

ANEXOS

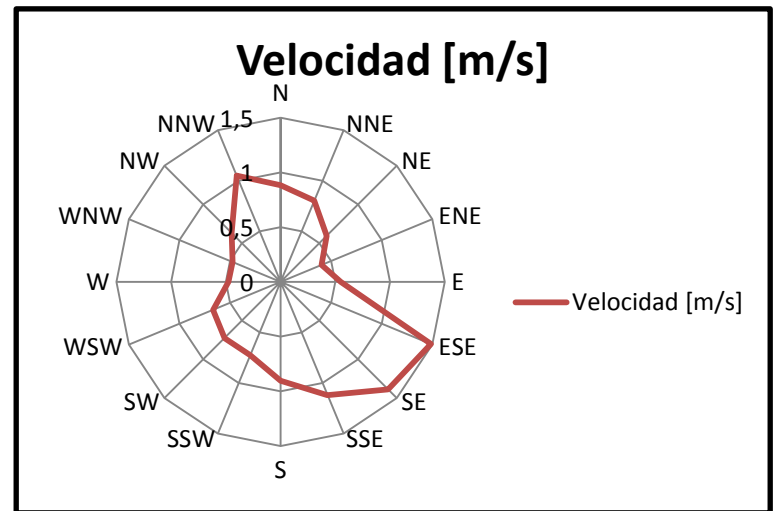
ANEXO A. GRÁFICOS DE FRECUENCIA Y VELOCIDAD DE VIENTO PARA CADA ESTACIÓN METEOROLÓGICA.

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Química.

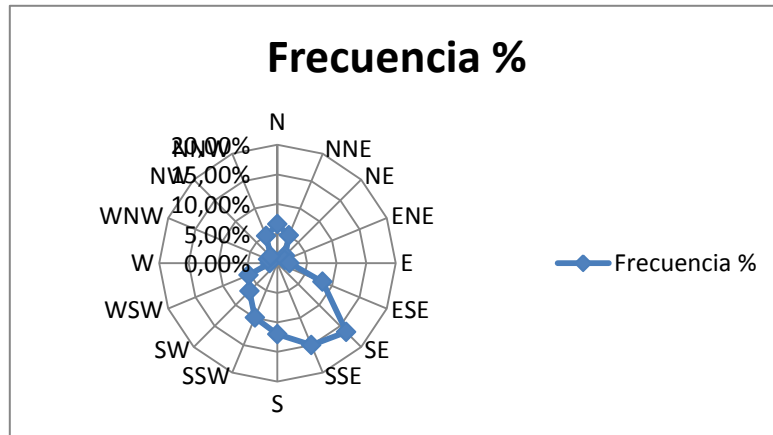
Gráfica 1. Rosa de los vientos para frecuencia; mes de enero de 2004 a 2006



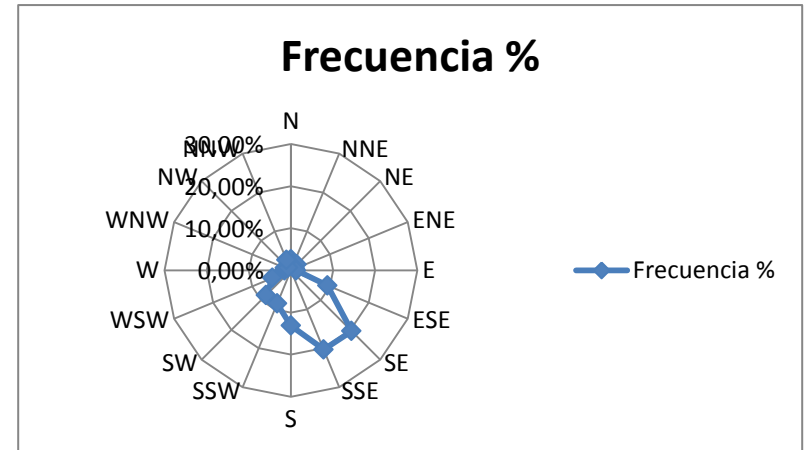
Gráfica 2. Velocidad del viento; mes de enero de 2004 a 2006



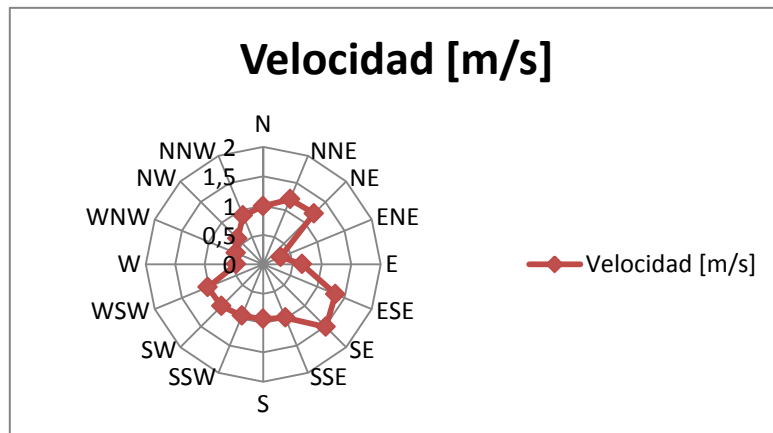
Gráfica 3. Rosa de los vientos para frecuencia; mes de febrero de 2004 a 2006



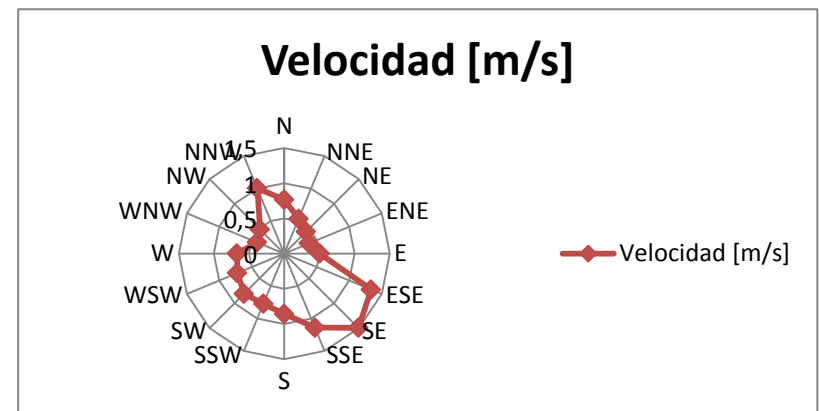
Gráfica 5. Rosa de los vientos para frecuencia; mes de marzo de 2004 a 2006



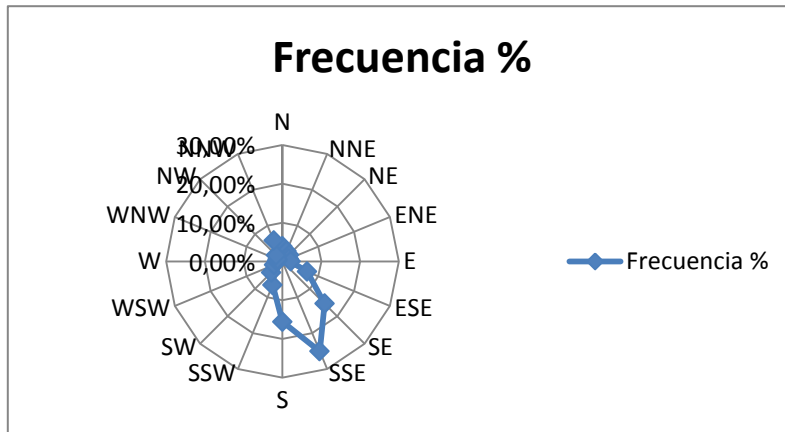
Gráfica 4. Velocidad del viento; mes de febrero de 2004 a 2006



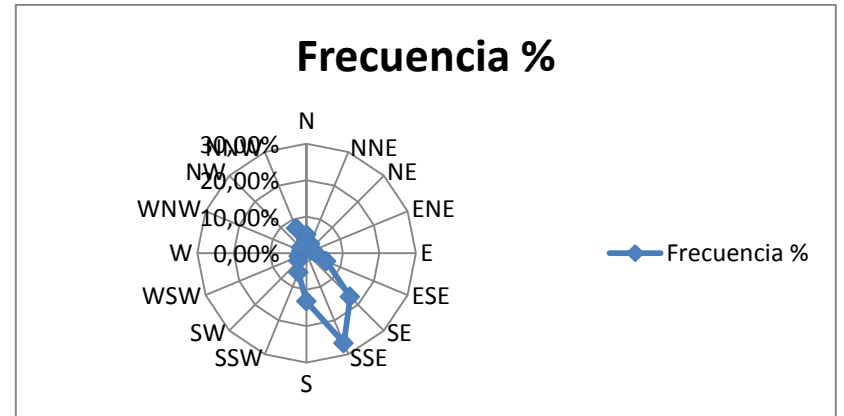
Gráfica 6. Velocidad del viento; mes de marzo de 2004 a 2006



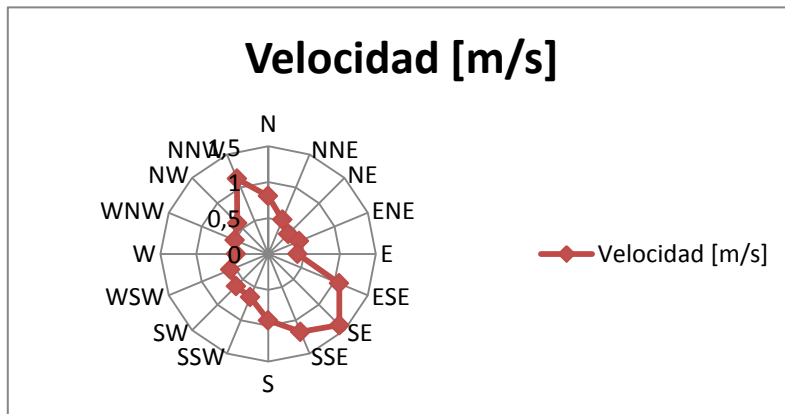
Gráfica 7. Rosa de los vientos para frecuencia; mes de abril de 2004 a 2006.



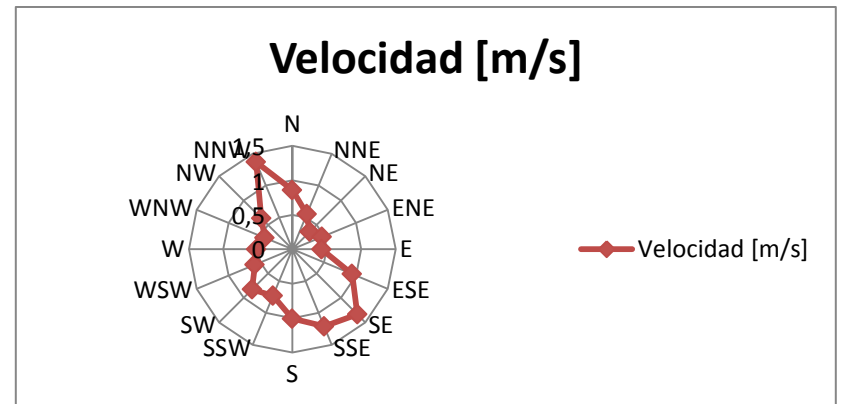
Gráfica 9. Rosa de los vientos para frecuencia, mes de mayo de 2004 a 2006.



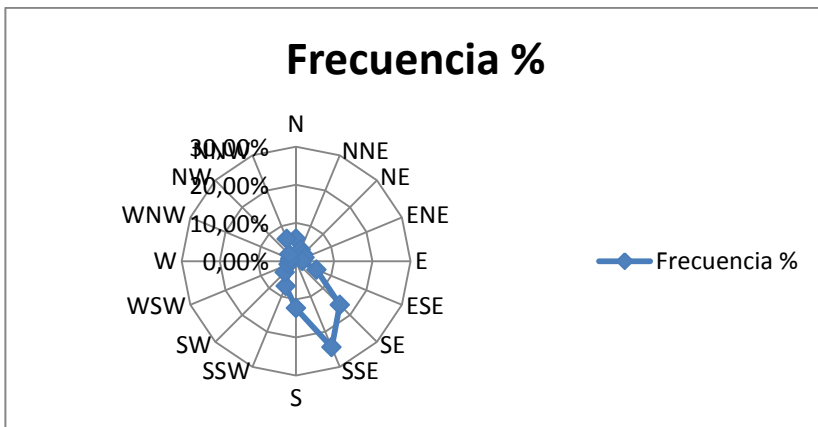
Gráfica 8. Rosa de los vientos para velocidad, mes de abril de 2004 a 2006.



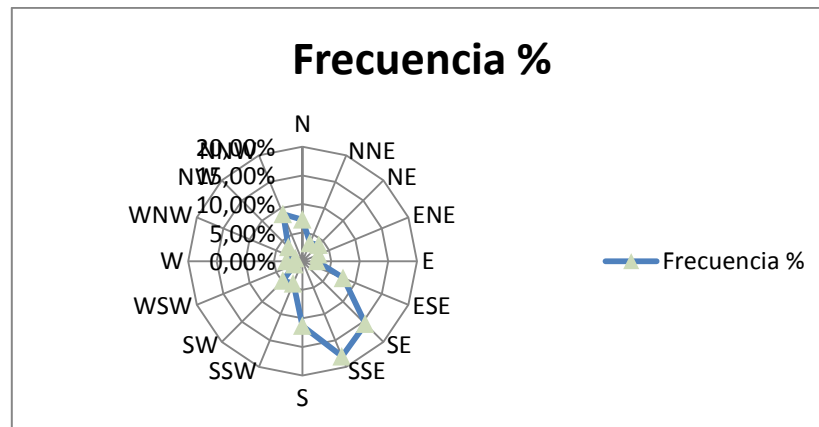
Gráfica 10. Rosa de vientos para velocidad, mes de mayo de 2004 a 2006.



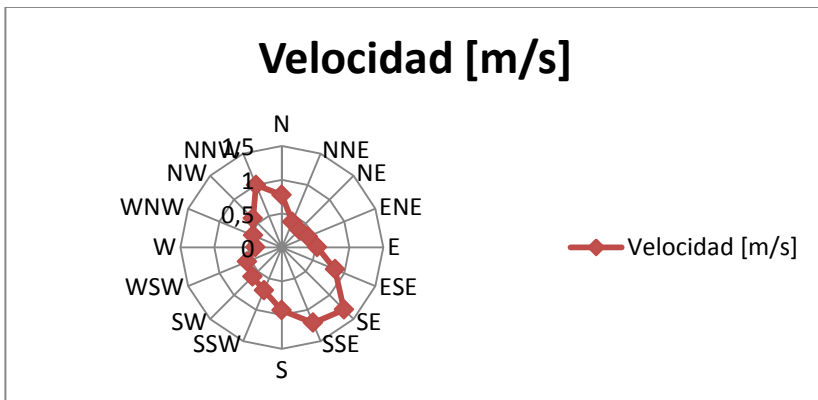
Grafica 11. Rosa de vientos para frecuencia, mes de junio de 2004 a 2006.



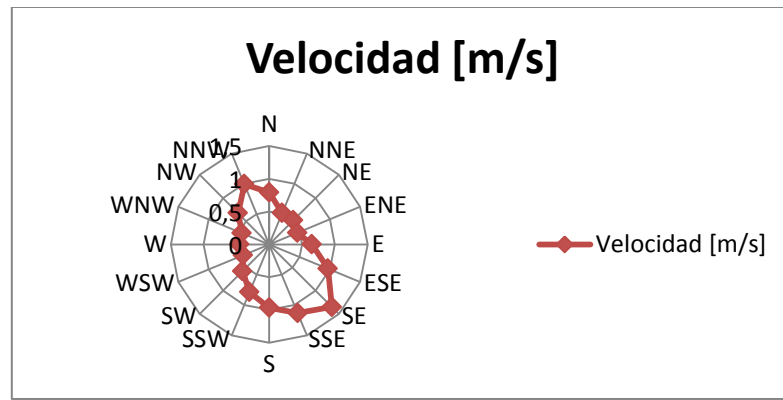
Grafica 13. Rosa de vientos para frecuencia, mes de julio de 2004 a 2006.



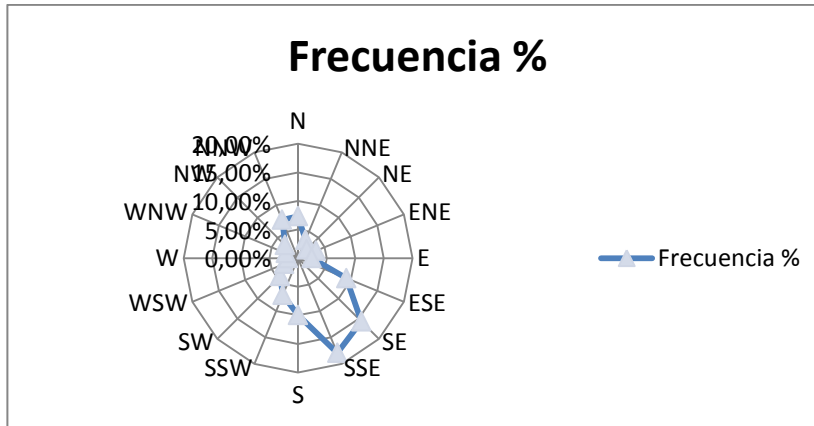
Grafica 12. Rosa de vientos para velocidad, mes de junio de 2004 a 2006.



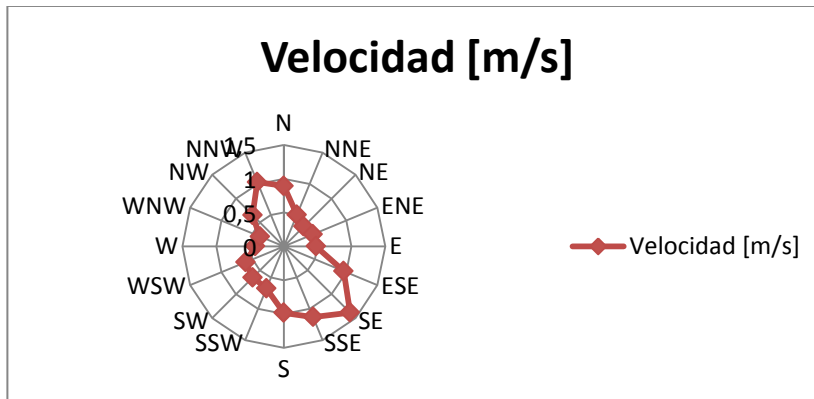
Grafica 14. Rosa de vientos para velocidad, mes de julio de 2004 a 2006.



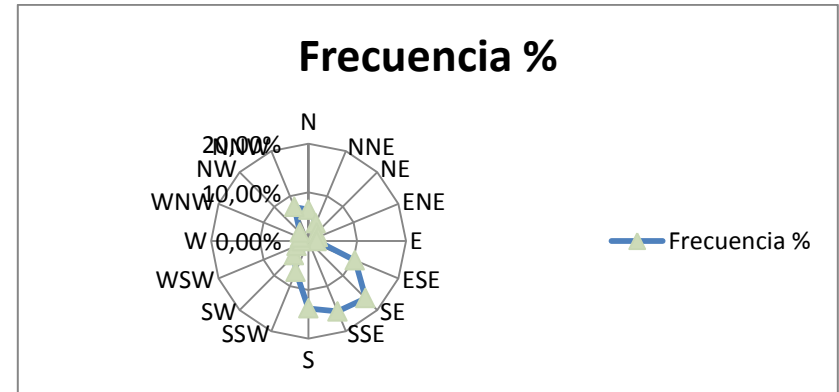
Grafica 15. Rosa de vientos para frecuencia, mes de agosto de 2004 a 2006.



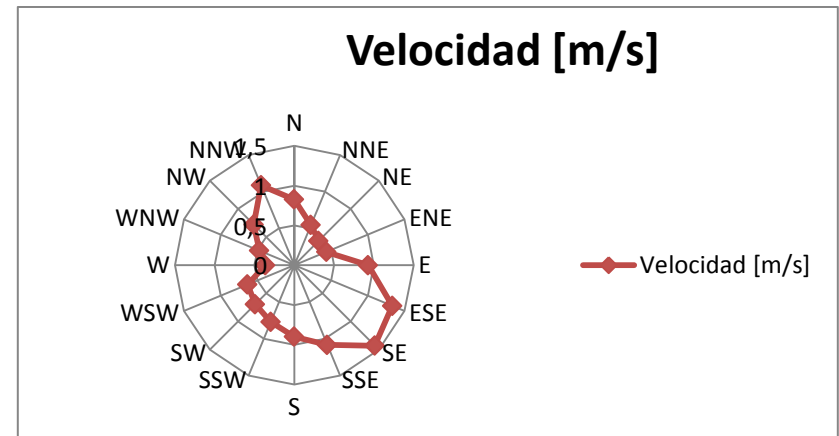
Grafica 16. Rosa de vientos para velocidad, mes de agosto de 2004 a 2006.



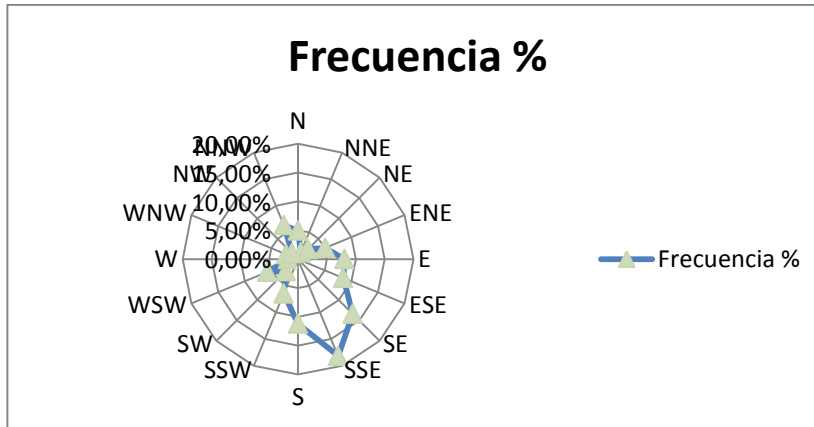
Grafica 17. Rosa de vientos para frecuencia, mes de septiembre de 2004 a 2006.



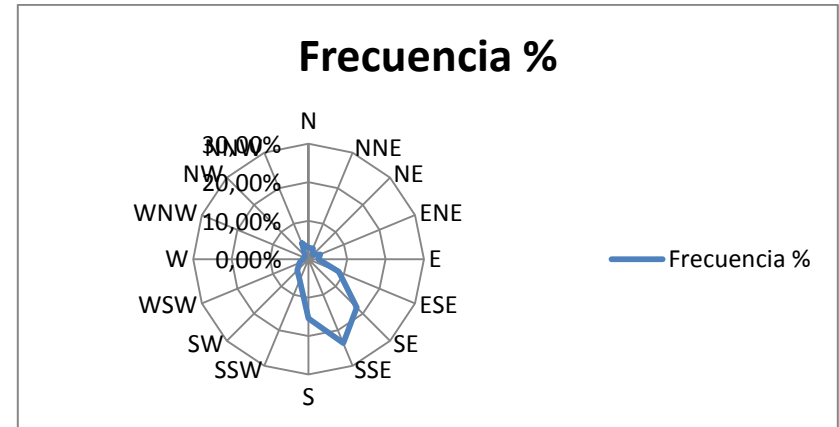
Grafica 18. Rosa de vientos para velocidad, mes de septiembre de 2004 a 2006.



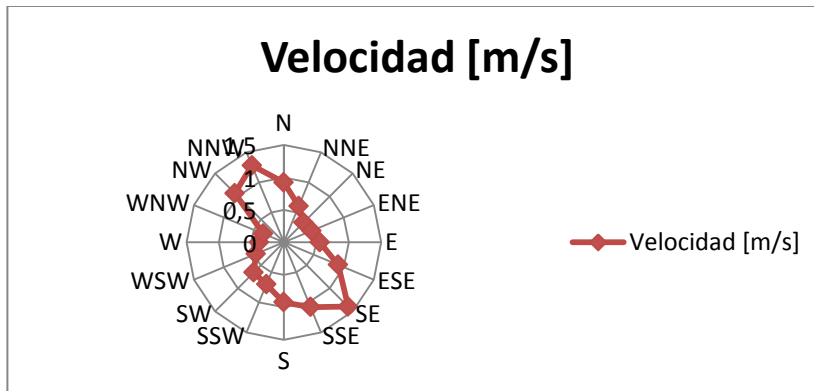
Grafica 19. Rosa de vientos para frecuencia, mes de octubre de 2004 a 2006.



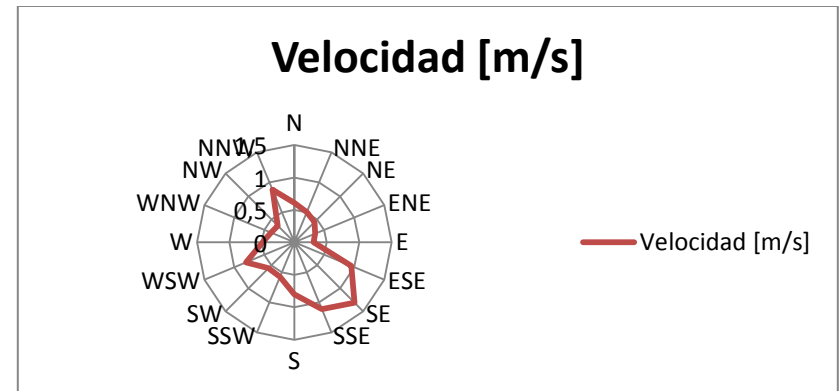
Grafica 21. Rosa de vientos para frecuencia, mes de noviembre de 2004 a 2006.



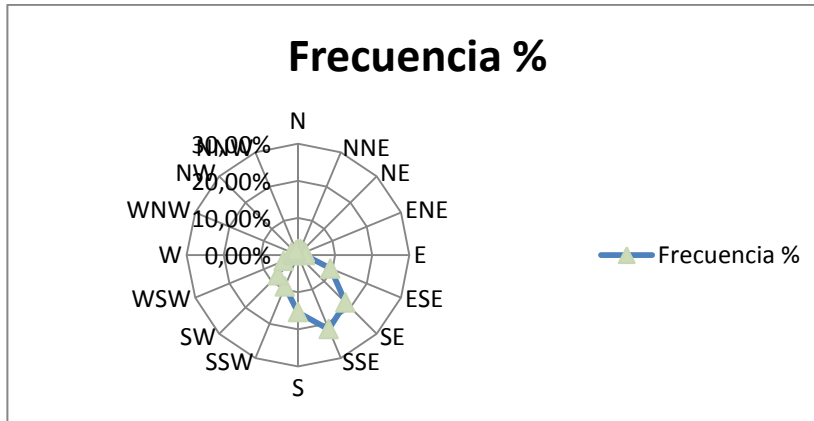
Grafica 20. Rosa de vientos para velocidad, mes de octubre de 2004 a 2006.



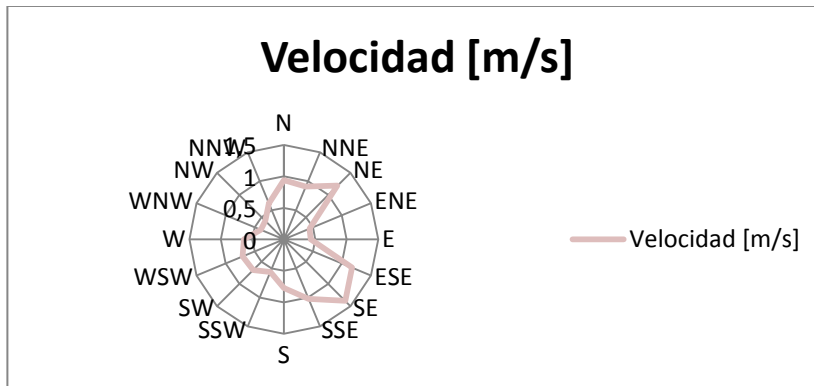
Grafica 22. Rosa de vientos para velocidad, mes de noviembre de 2004 a 2006.



Grafica 23. Rosa de vientos para frecuencia, mes de diciembre de 2004 a 2006.

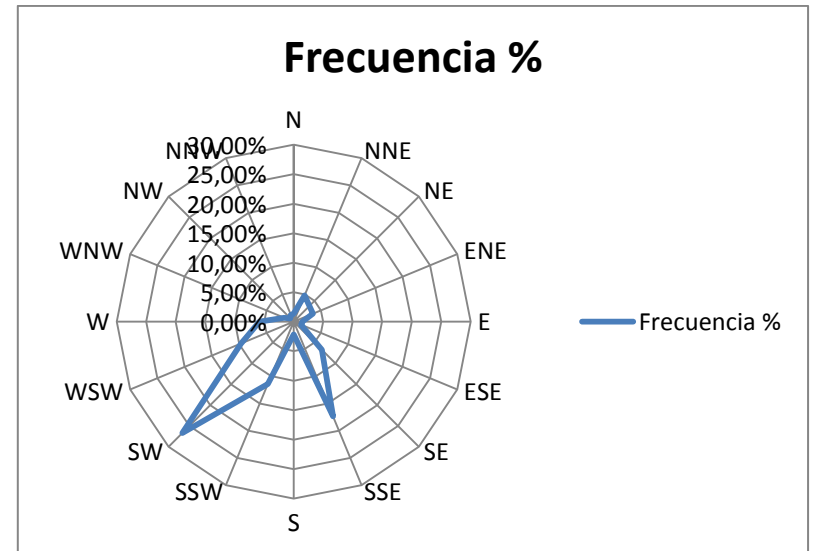


Grafica 24. Rosa de vientos para velocidad, mes de diciembre de 2004 a 2006.

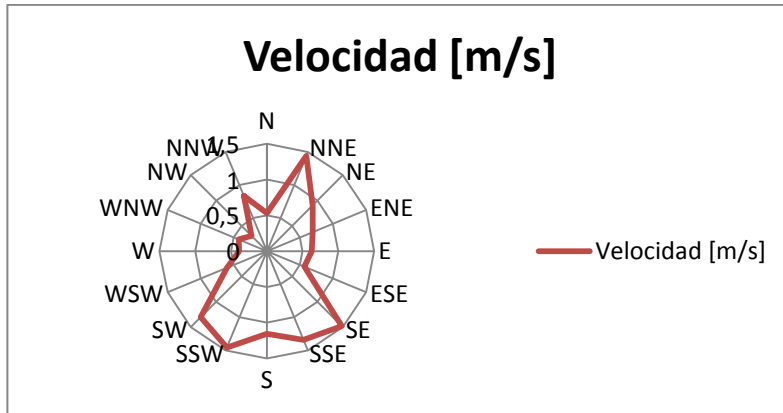


Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Mecánica.

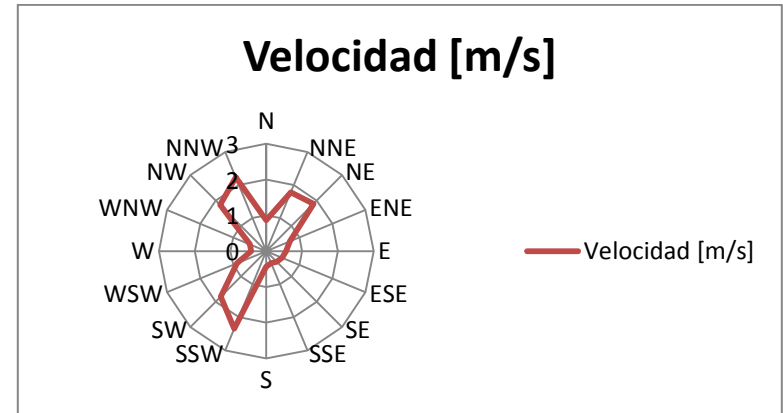
Grafica 25. Rosa de vientos para frecuencia, mes de noviembre de 2011.



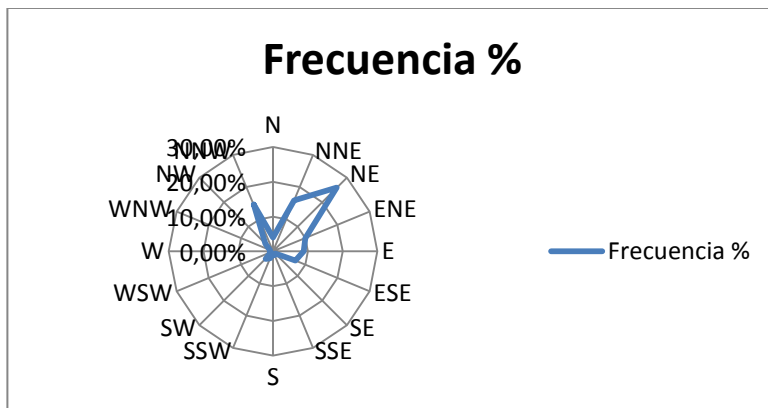
Grafica 26. Rosa de vientos para velocidad, mes de noviembre de 2011.



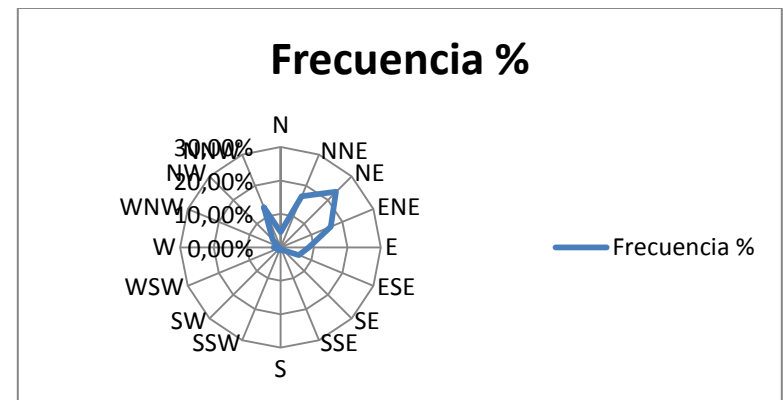
Grafica 28. Rosa de vientos para velocidad, mes de enero de 2012.



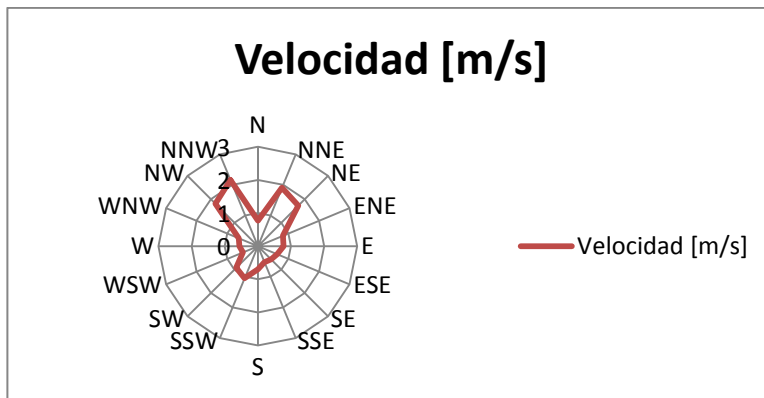
Grafica 27. Rosa de vientos para frecuencia, mes de enero de 2012.



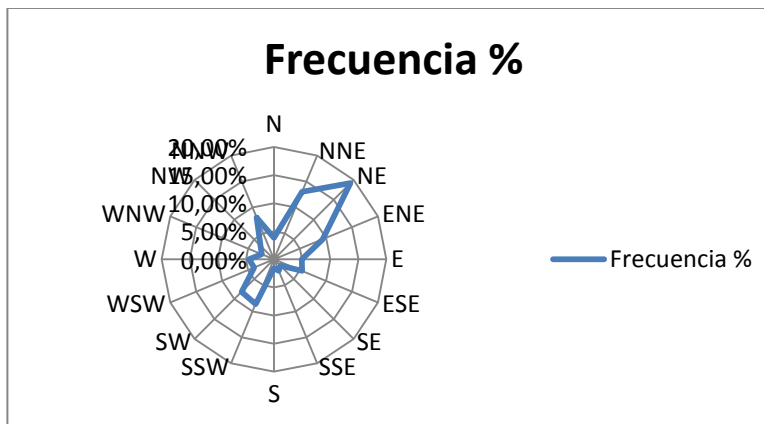
Grafica 29. Rosa de vientos para frecuencia, mes de febrero de 2012.



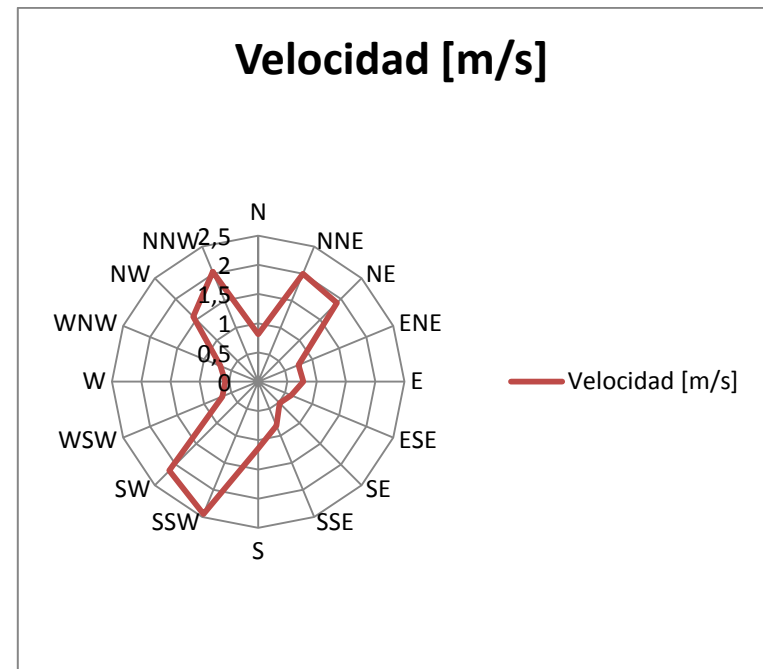
Grafica 30. Rosa de vientos para velocidad, mes de febrero de 2012.



Grafica 31. Rosa de vientos para frecuencia, mes de marzo de 2012.

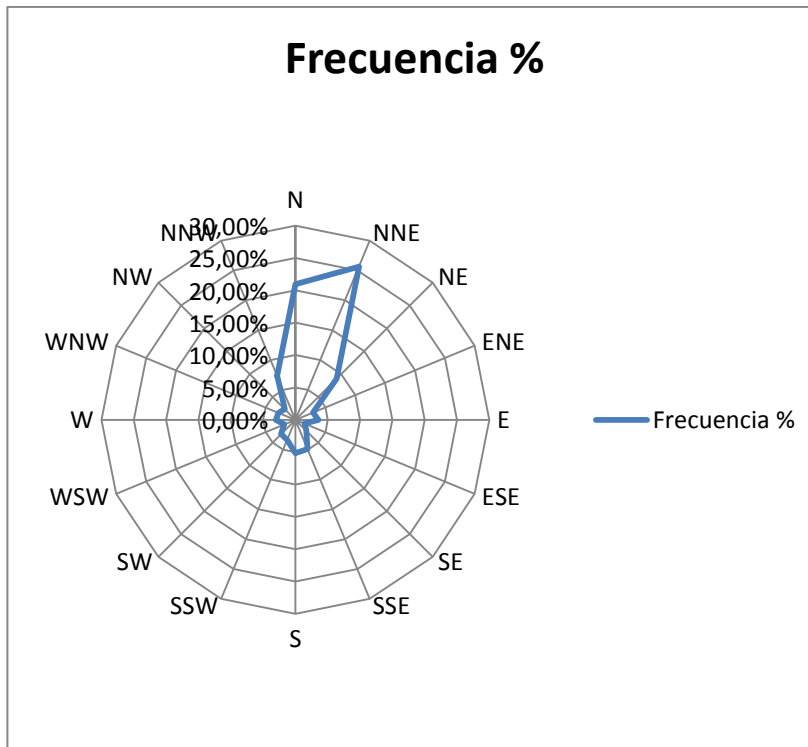


Grafica 32. Rosa de vientos para velocidad, mes de marzo de 2012.

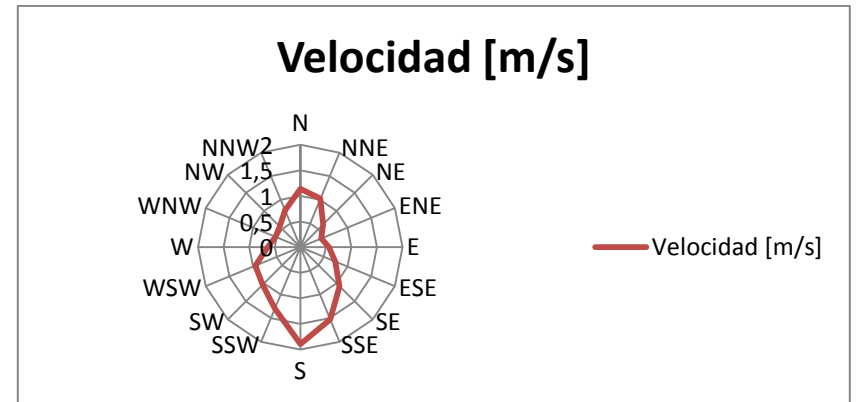


Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones.

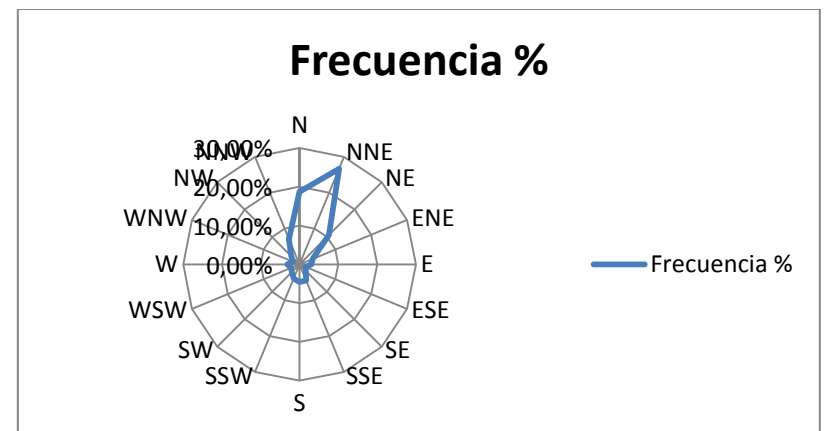
Grafica 33. Rosa de vientos para frecuencia, mes de septiembre de 2010.



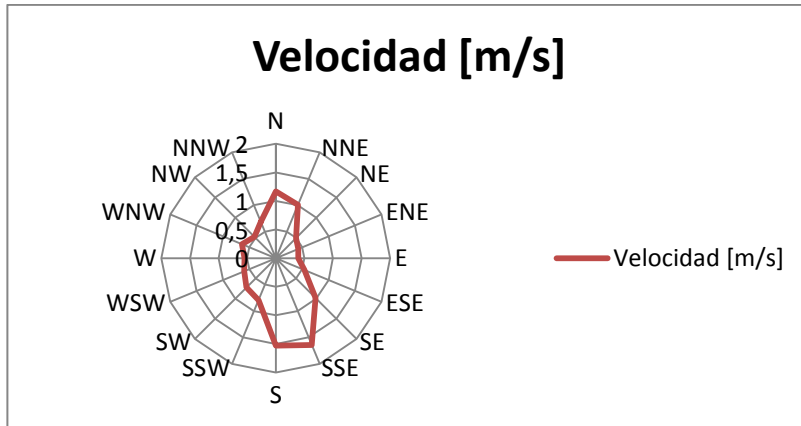
Grafica 34. Rosa de vientos para velocidad, mes de septiembre de 2010.



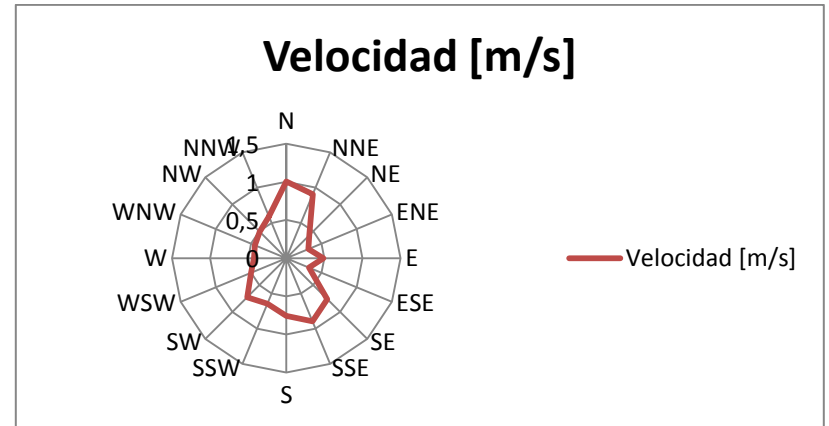
Grafica 35 Rosa de vientos para frecuencia, mes de octubre de 2010.



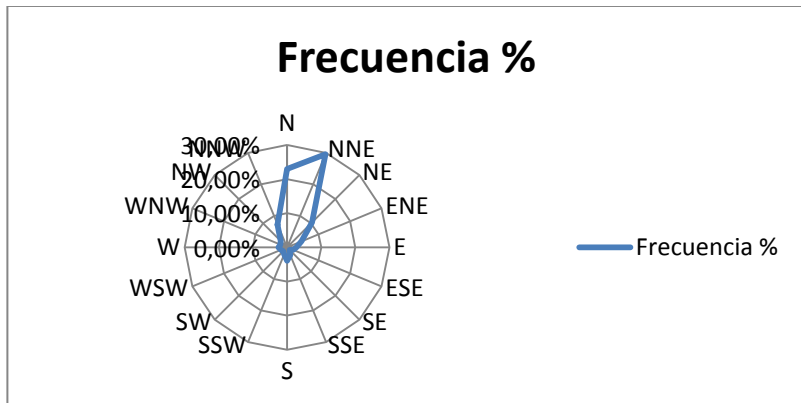
Grafica 36. Rosa de vientos para velocidad, mes de octubre de 2010.



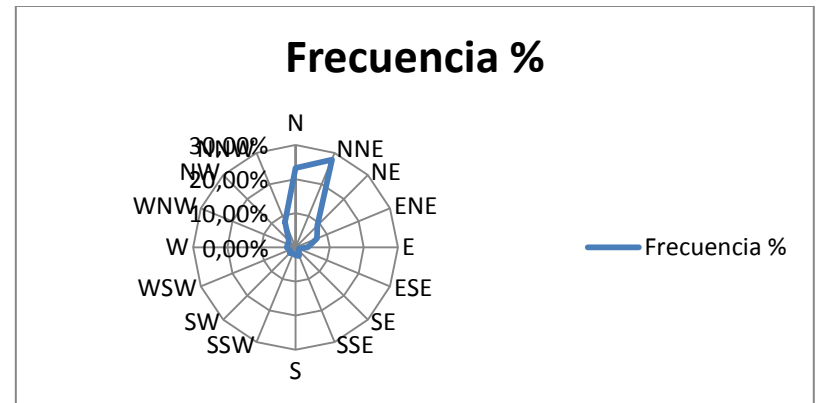
Grafica 38. Rosa de vientos para velocidad, mes de noviembre de 2010.



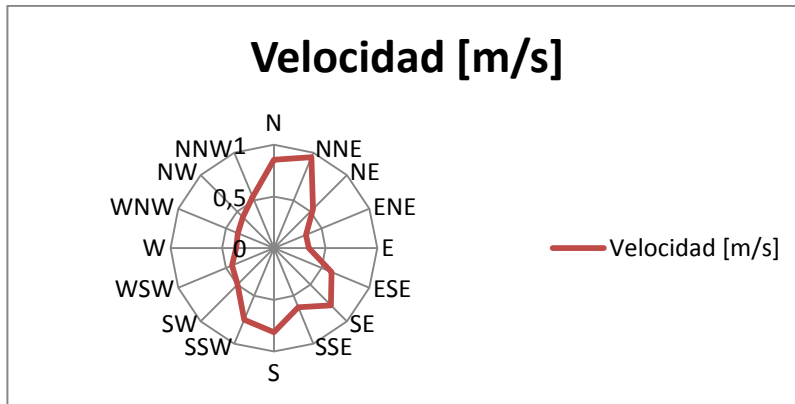
Grafica 37. Rosa de vientos para frecuencia, mes de noviembre de 2010.



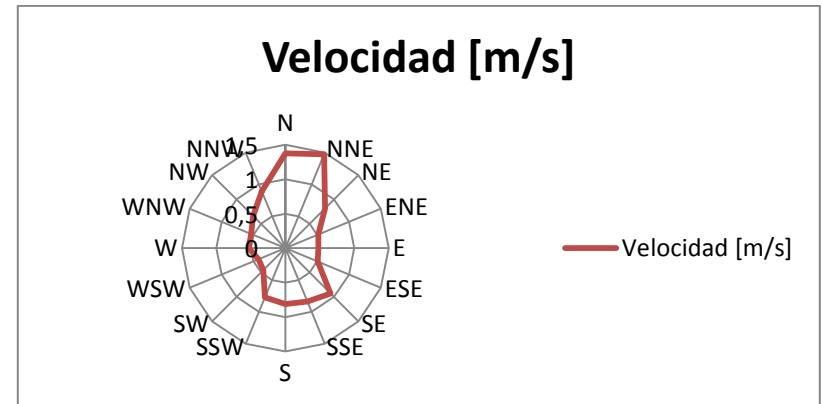
Grafica 39. Rosa de vientos para frecuencia, mes de diciembre de 2010.



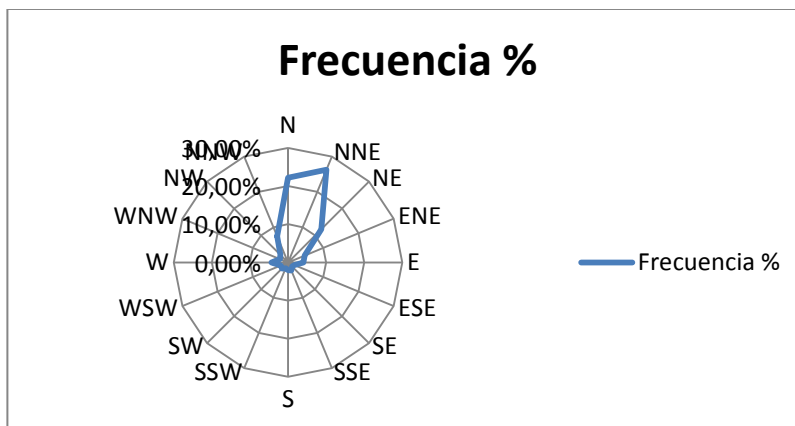
Grafica 40. Rosa de vientos para velocidad, mes de diciembre de 2010.



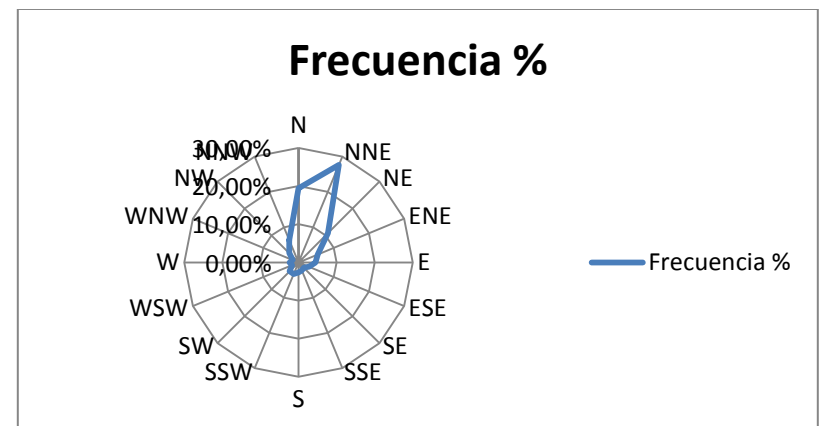
Grafica 42. Rosa de vientos para velocidad, mes de febrero de 2011.



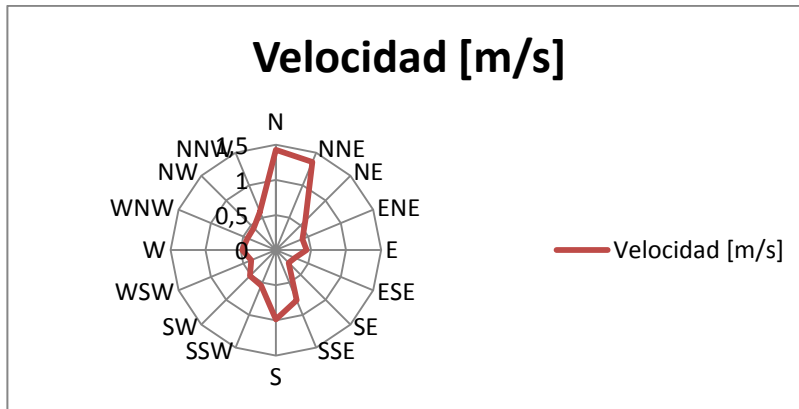
Grafica 41. Rosa de vientos para frecuencia, mes de febrero de 2011.



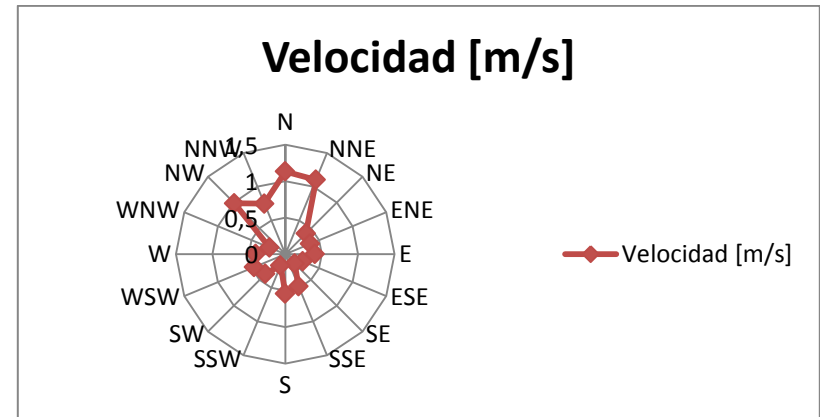
Grafica 43. Rosa de vientos para frecuencia, mes de marzo de 2011.



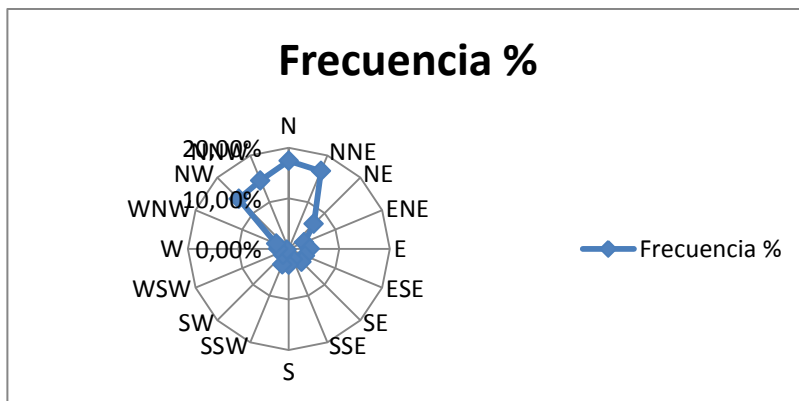
Grafica 44. Rosa de vientos para velocidad, mes de marzo de 2011.



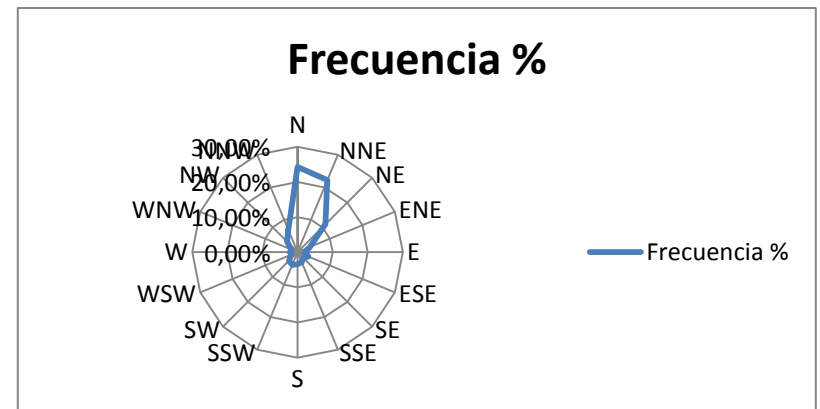
Grafica 46. Rosa de vientos para velocidad, mes de abril de 2011.



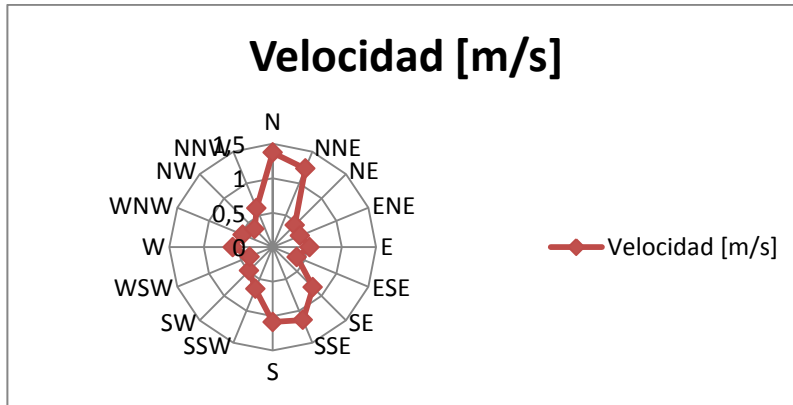
Grafica 45. Rosa de vientos para frecuencia, mes de abril de 2011.



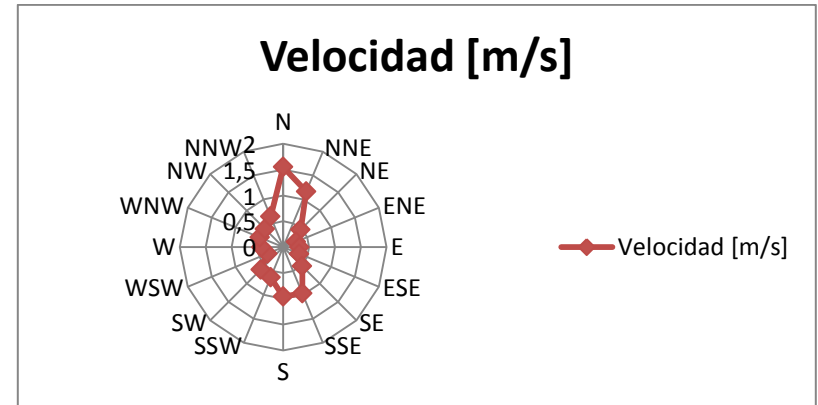
Grafica 47. Rosa de vientos para frecuencia, mes de mayo de 2011.



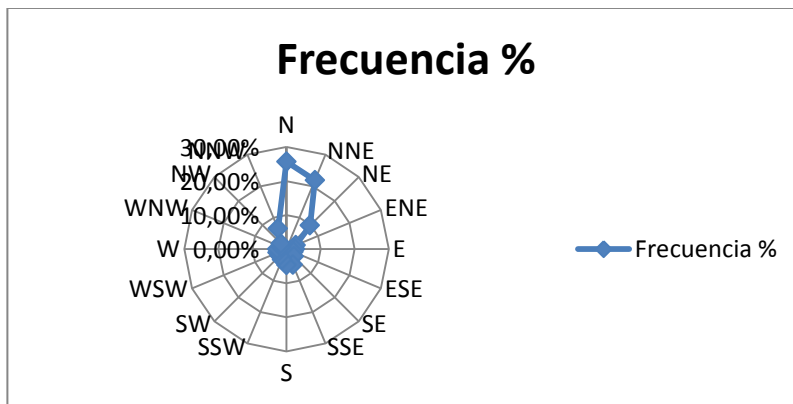
Grafica 48. Rosa de vientos para velocidad, mes de mayo de 2011.



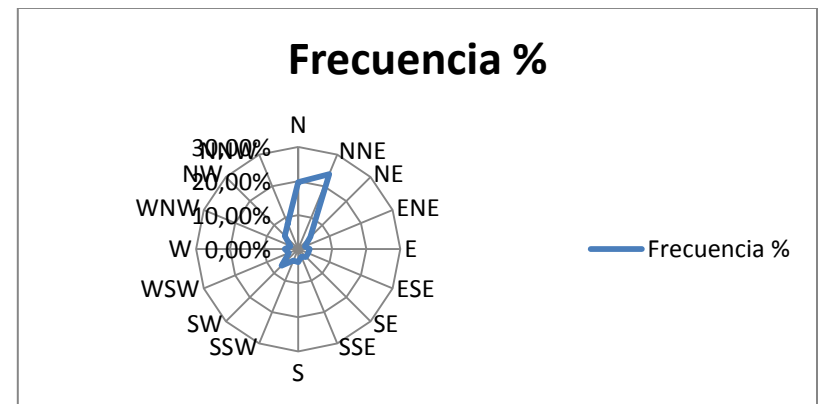
Grafica 50. Rosa de vientos para velocidad, mes de junio de 2011.



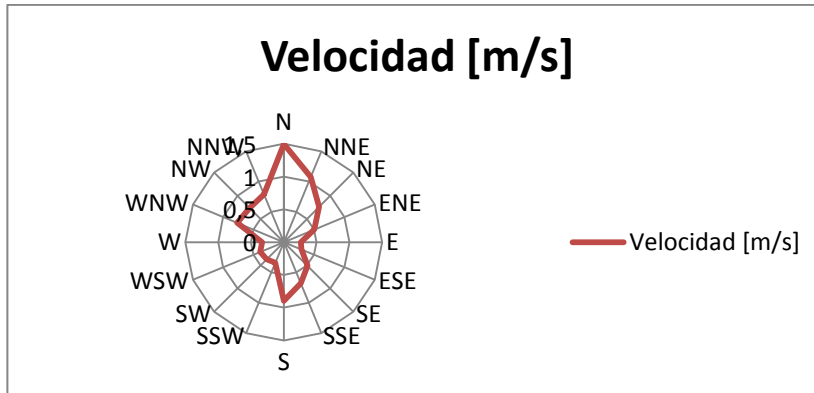
Grafica 49. Rosa de vientos para frecuencia, mes de junio de 2011.



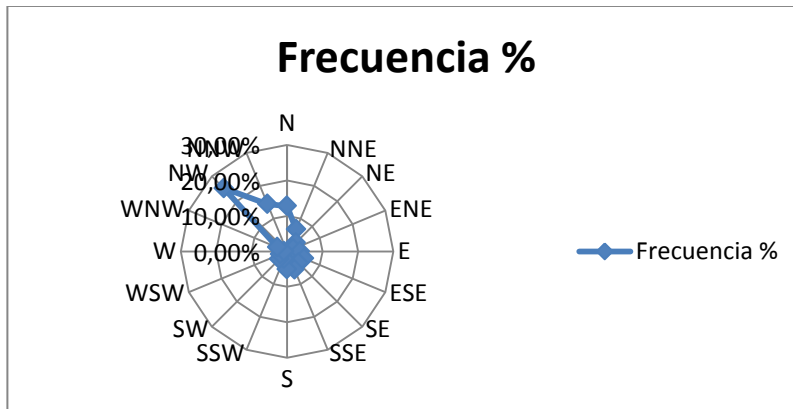
Grafica 51. Rosa de vientos para frecuencia, mes de julio de 2011.



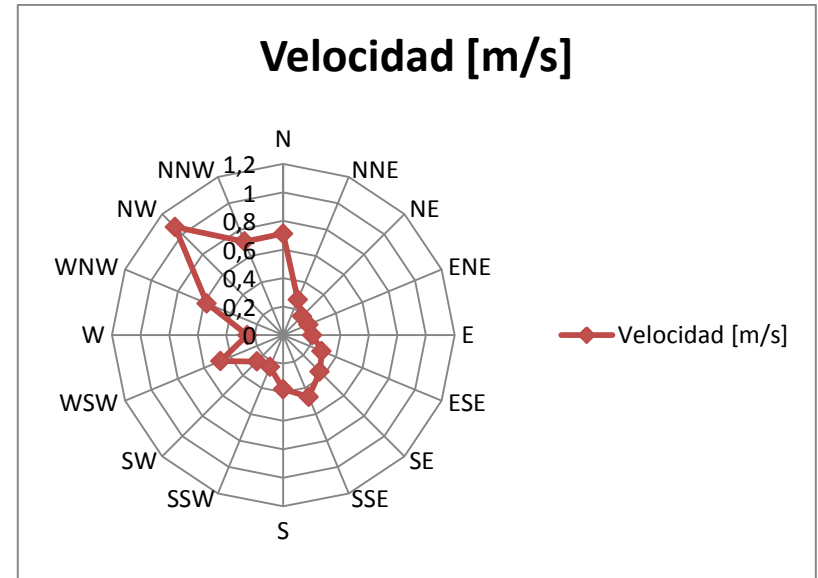
Grafica 52. Rosa de vientos para velocidad, mes de julio de 2011.



Grafica 53. Rosa de vientos para frecuencia, mes de agosto de 2011.



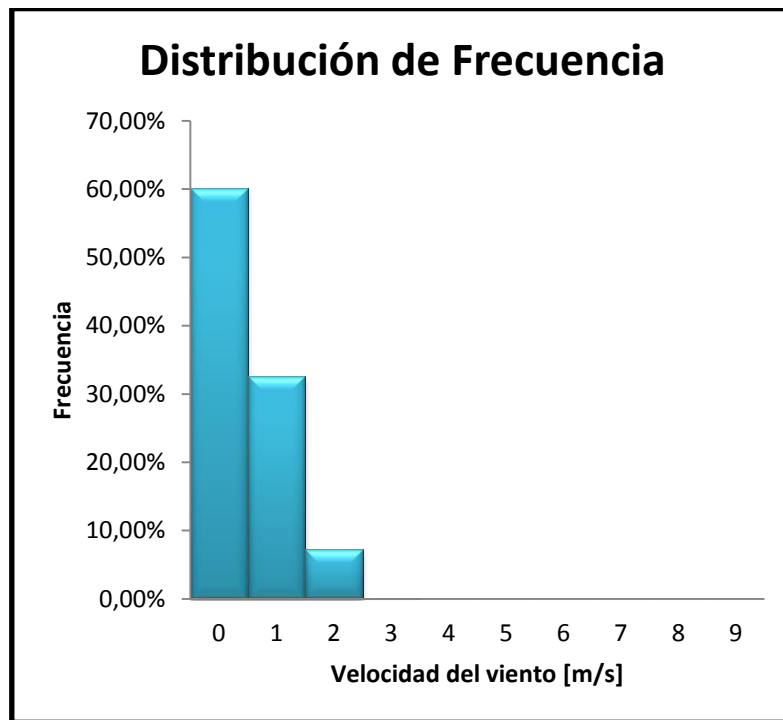
Grafica 54. Rosa de vientos para velocidad, mes de agosto de 2011.



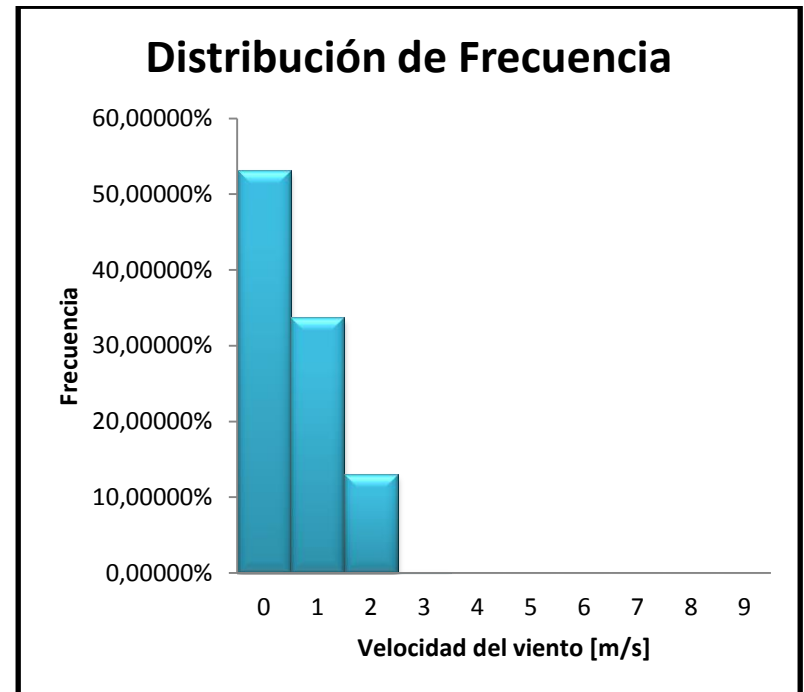
ANEXO B. GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA DE VELOCIDAD DE VIENTO

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Química.

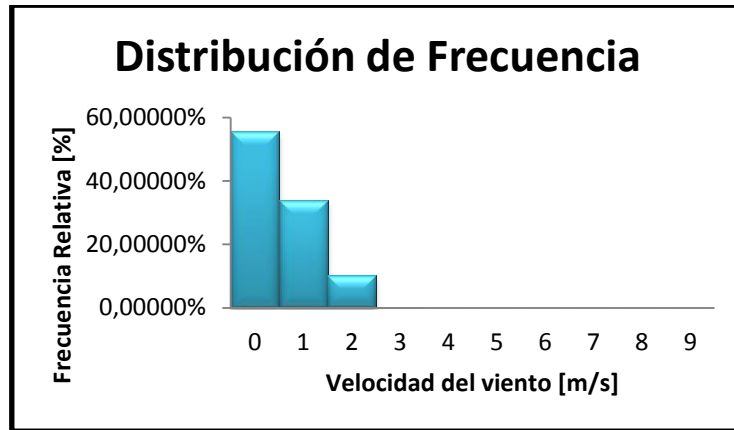
Gráfica 1. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de enero de 2004 a 2006.



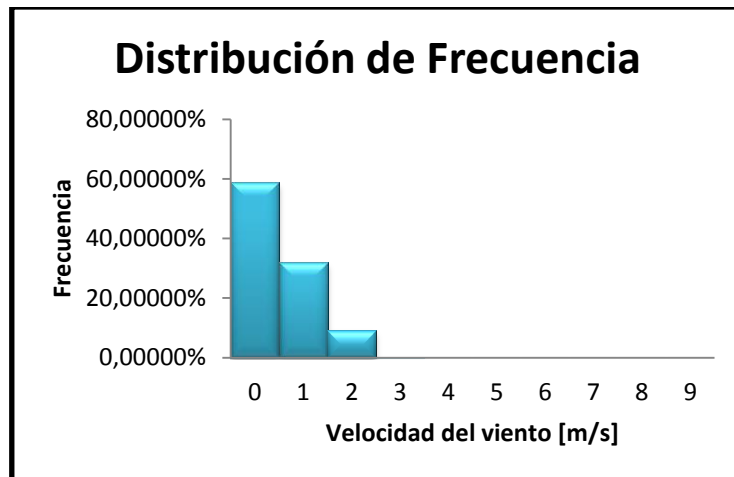
Gráfica 2. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de febrero de 2004 a 2006.



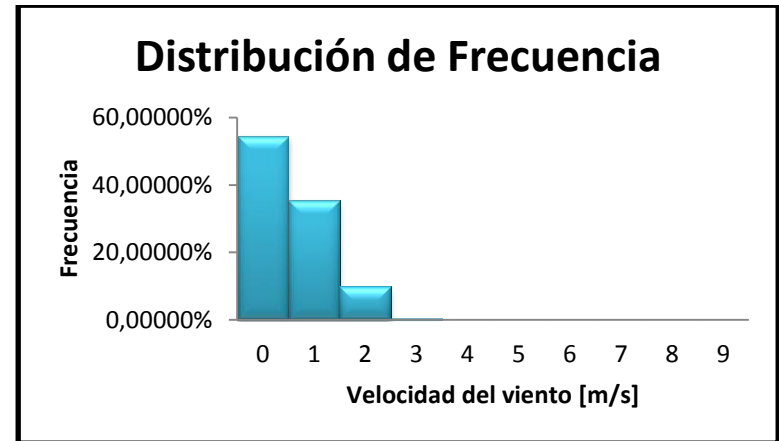
Gráfica 3. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de marzo de 2004 a 2006.



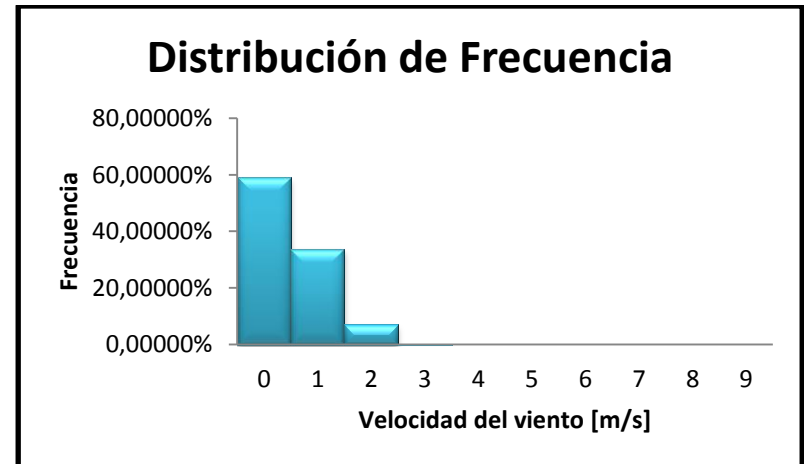
Gráfica 4. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de abril de 2004 a 2006.



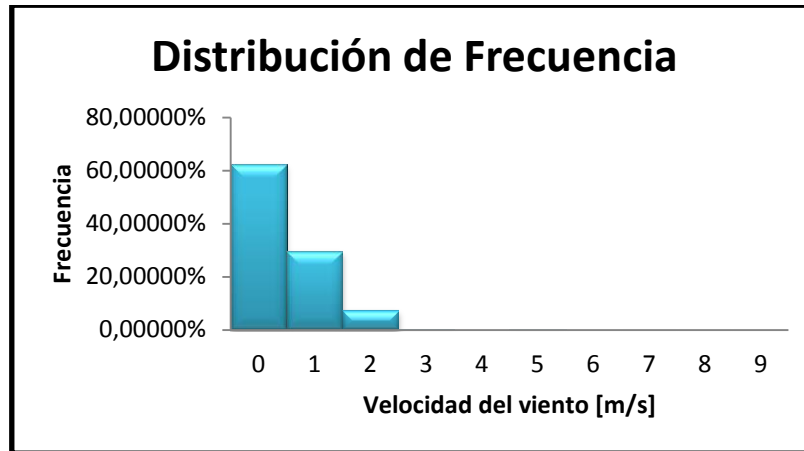
Gráfica 5. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de mayo de 2004 a 2006.



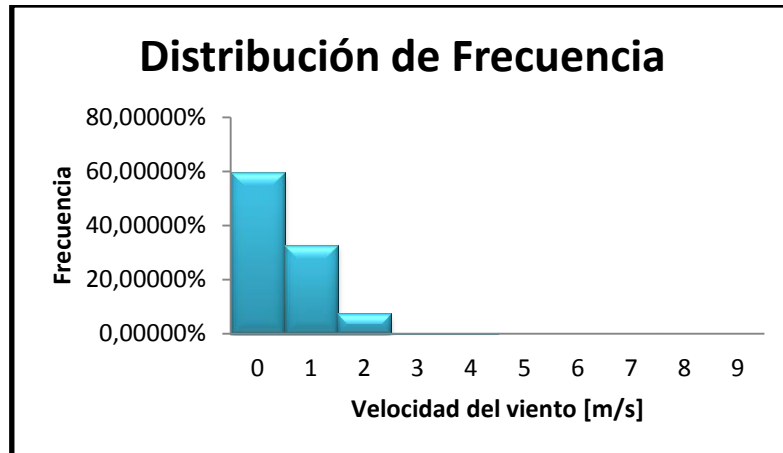
Gráfica 6. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de junio de 2004 a 2006.



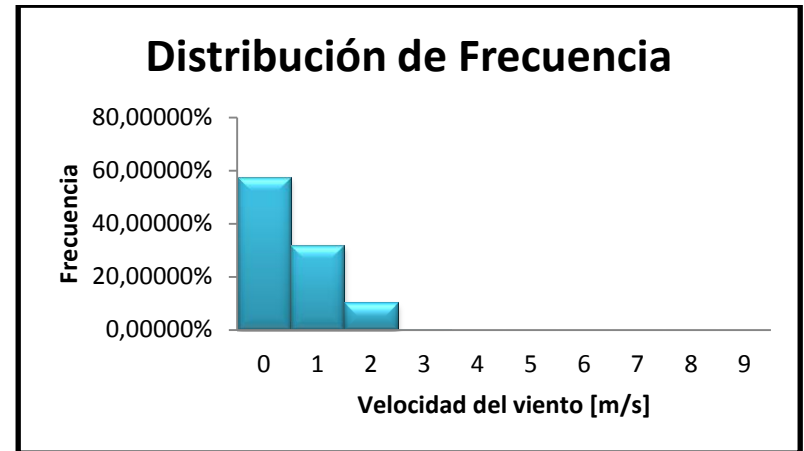
Gráfica 7. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de julio de 2004 a 2006.



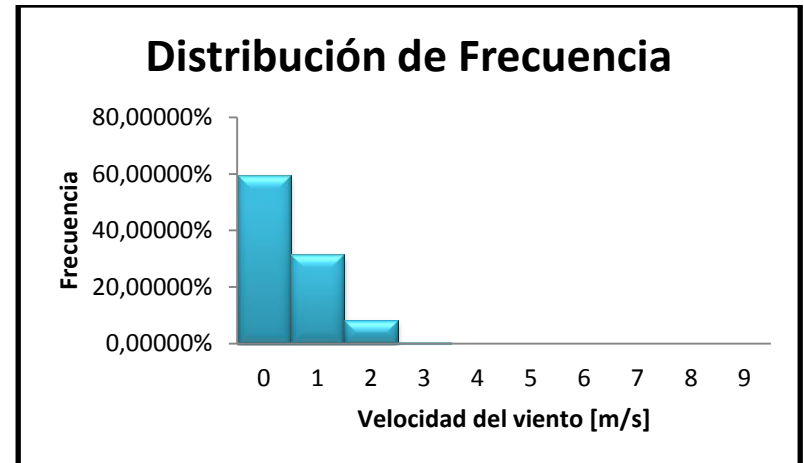
Gráfica 8. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de agosto de 2004 a 2006.



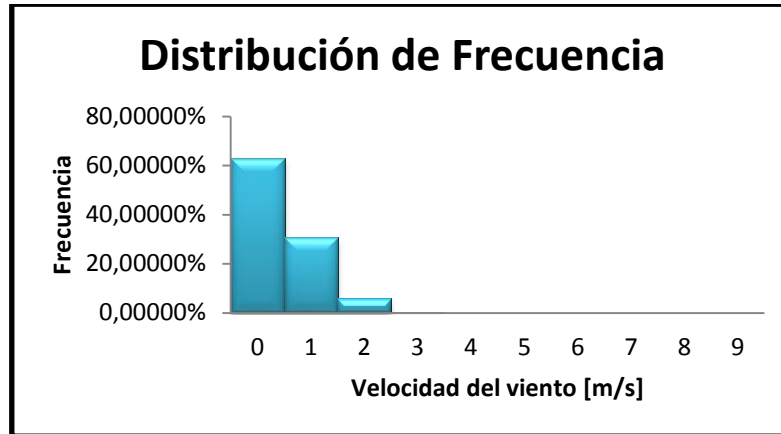
Gráfica 9. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de septiembre de 2004 a 2006.



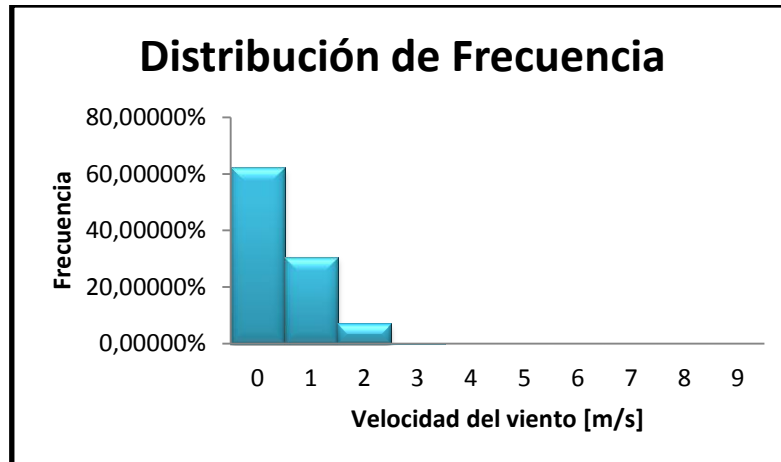
Gráfica 10. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de octubre de 2004 a 2006.



Gráfica 11. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de noviembre de 2004 a 2006.

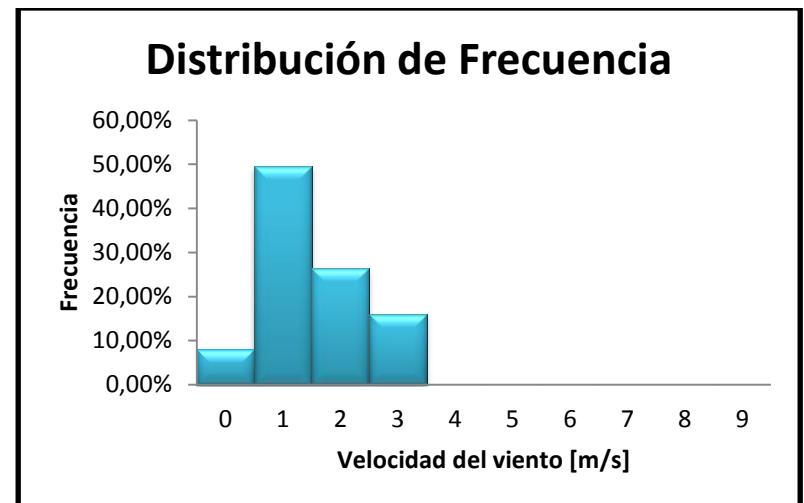


Gráfica 12. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de diciembre de 2004 a 2006.

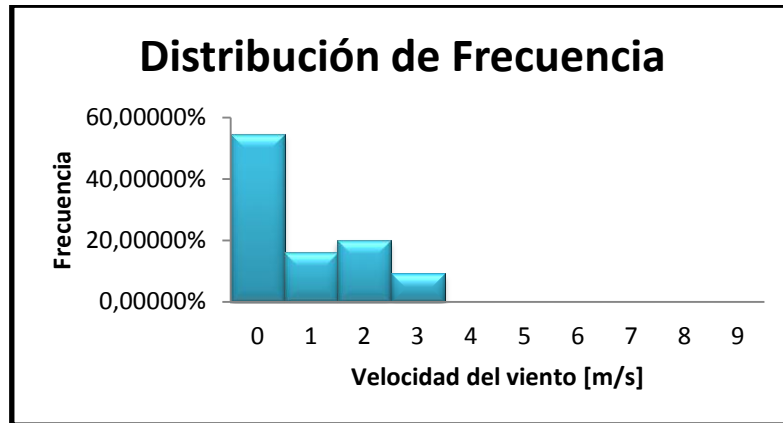


Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Mecánica.

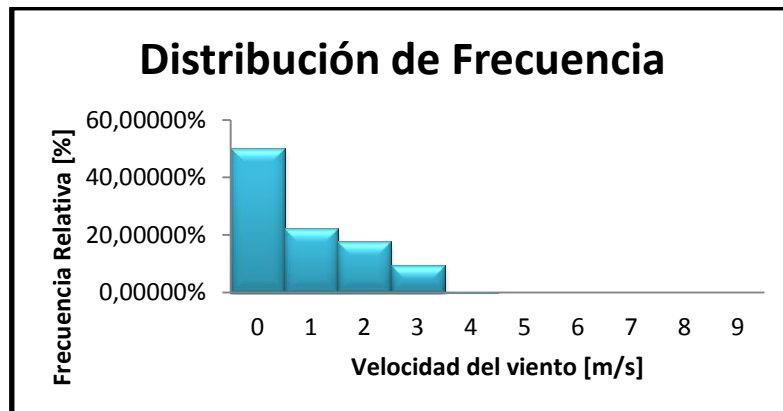
Gráfica 13. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de noviembre de 2011.



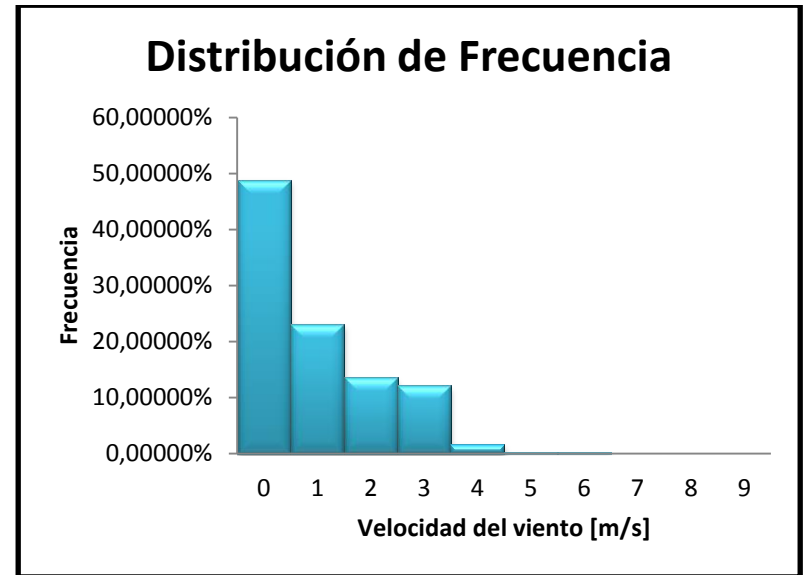
Gráfica 14. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; enero de 2012



Gráfica 15. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de febrero de 2012.

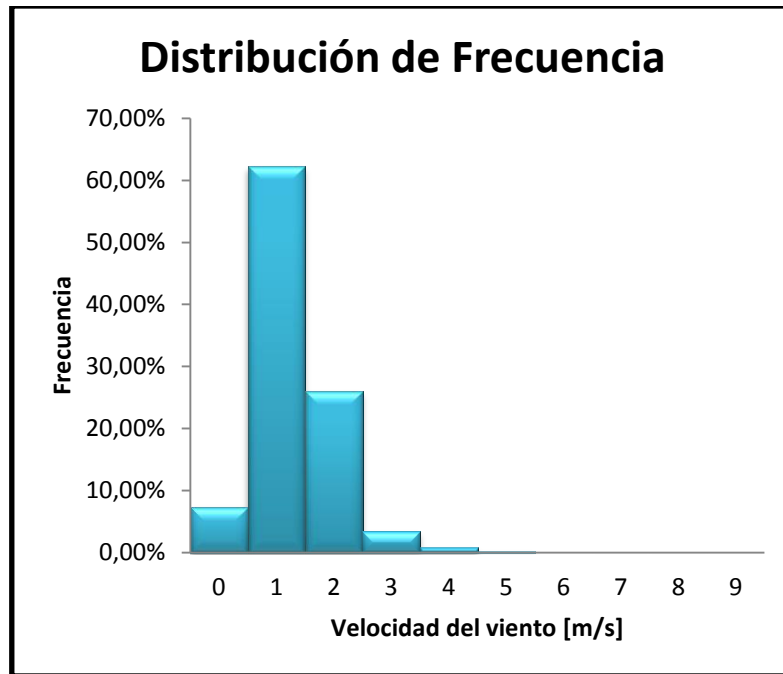


Gráfica 16. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de marzo de 2012.

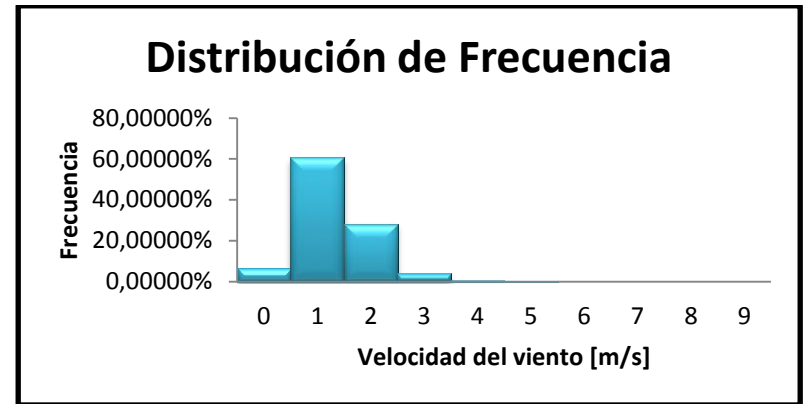


Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones.

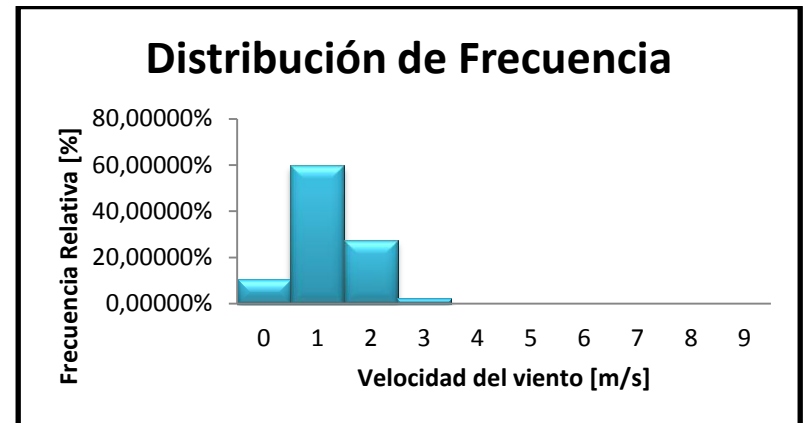
Gráfica 17. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de septiembre de 2010.



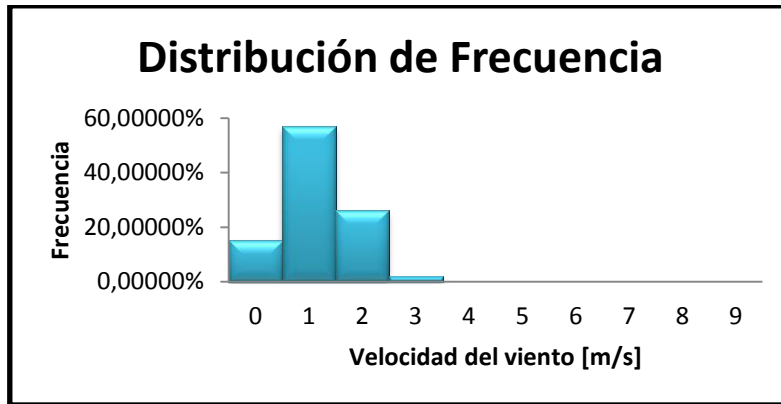
Gráfica 18. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de octubre de 2010.



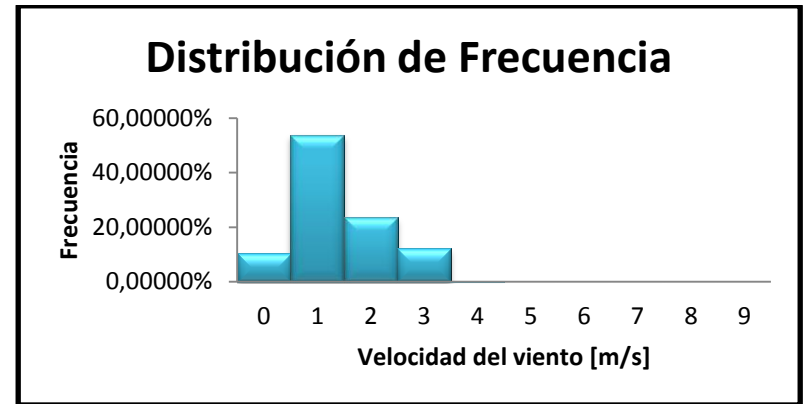
Gráfica 19. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de noviembre de 2010.



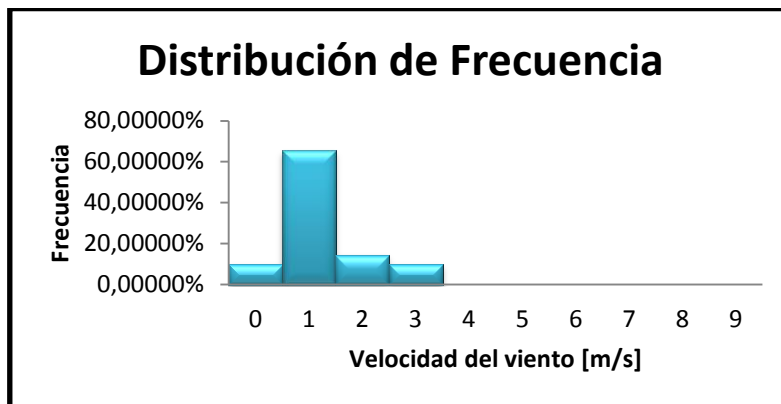
Gráfica 20. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de diciembre de 2010.



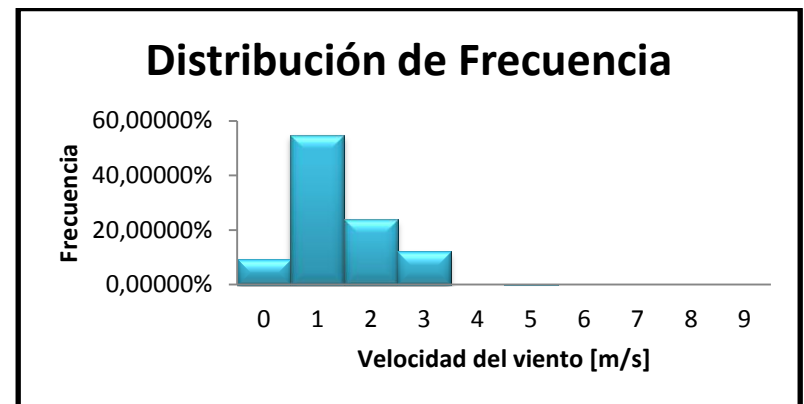
Gráfica 21. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de enero de 2011



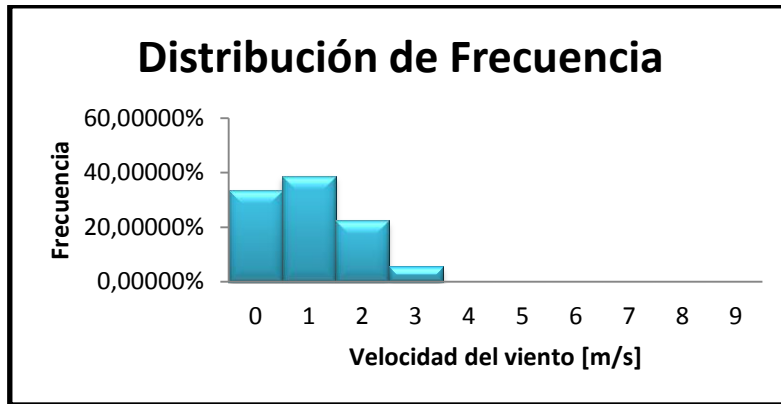
Gráfica 23. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de marzo de 2011.



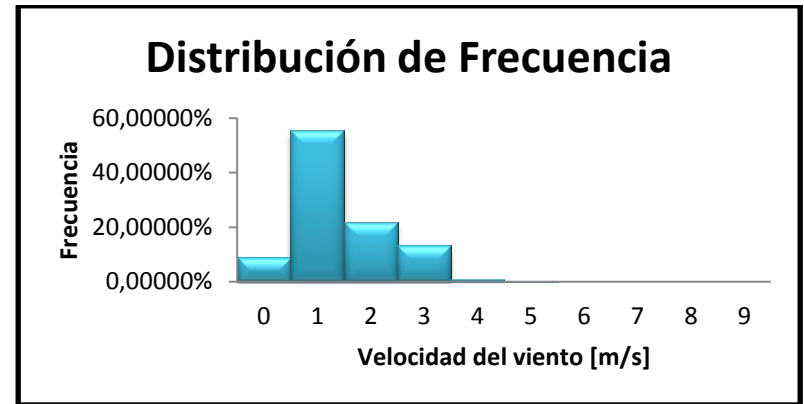
Gráfica 22. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de febrero de 2011.



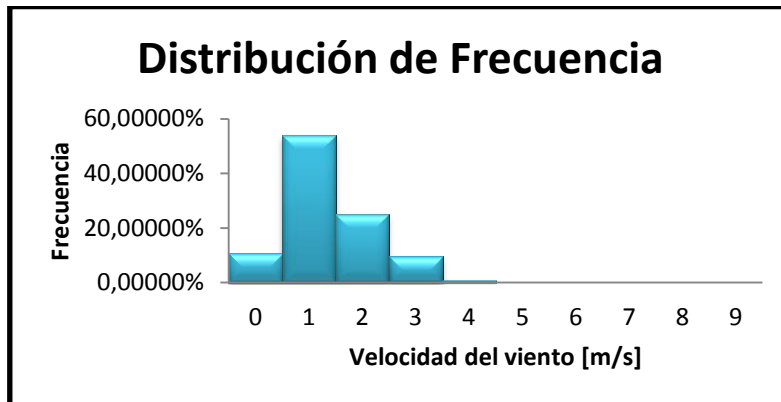
Gráfica 24. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de abril de 2011.



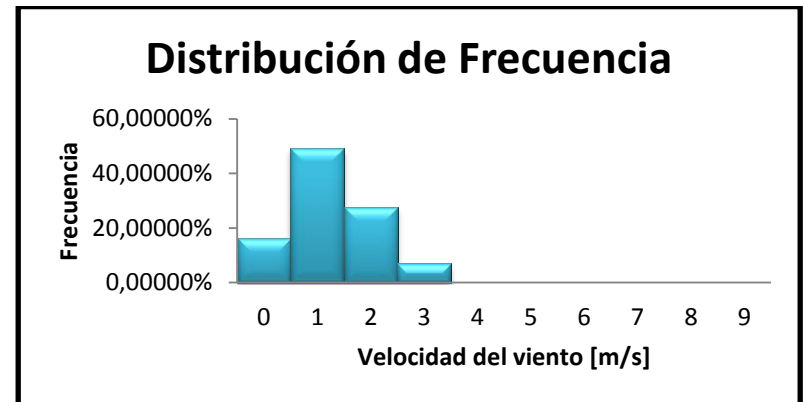
Gráfica 25. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de mayo de 2011.



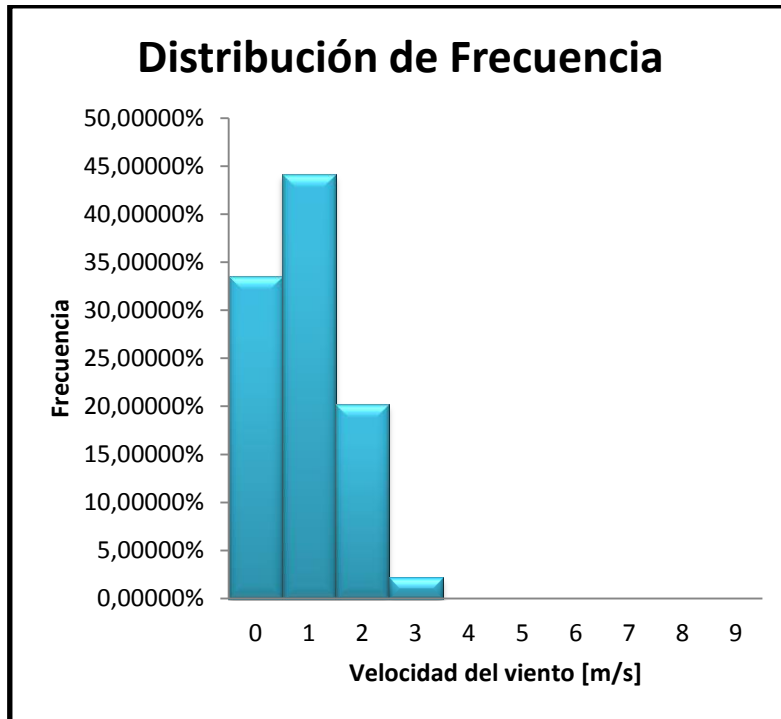
Gráfica 27. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de julio de 2011



Gráfica 26. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de junio de 2011.



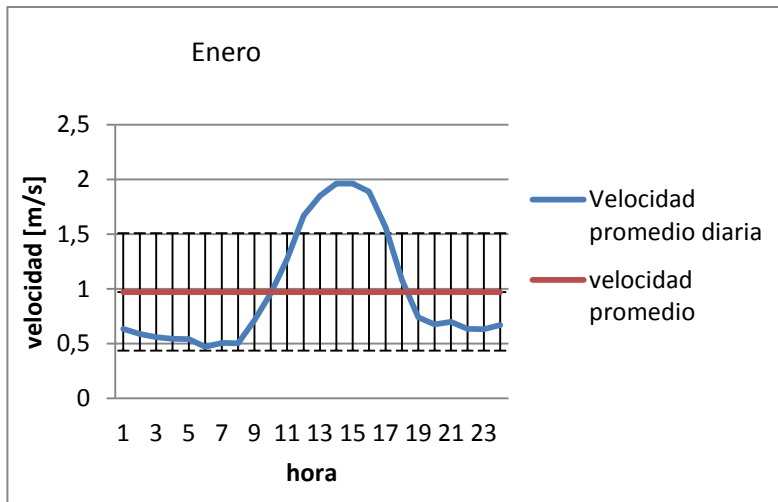
Gráfica 28. Distribución de frecuencia de Velocidad del viento; mes de agosto de 2011.



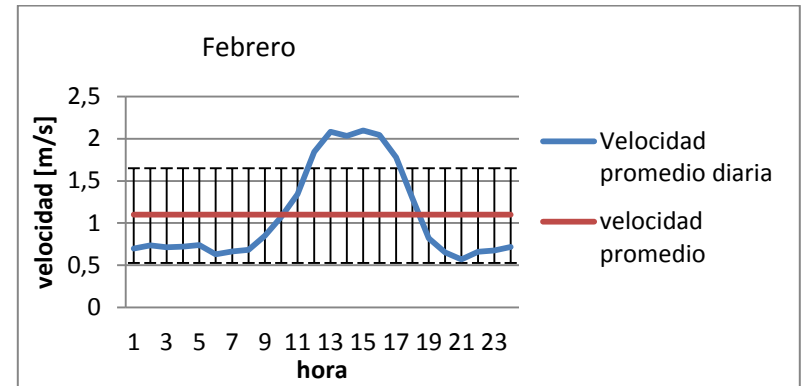
ANEXO C. GRÁFICOS DE VARIACIONES MENSUALES DEL VIENTO MEDIA POR HORA

Estación meteorológica del Edificio de Ingeniería Química.

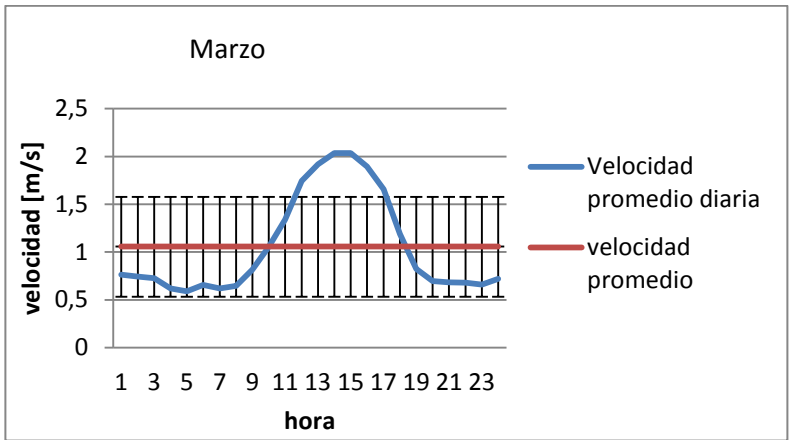
Gráfica 1. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de enero de 2004 a 2006



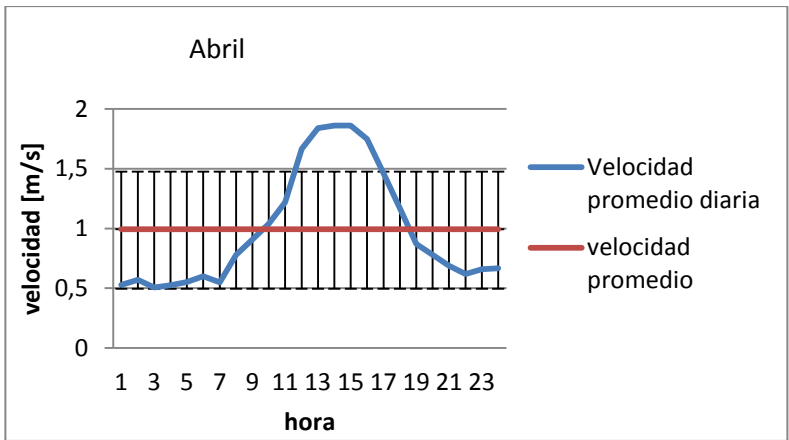
Gráfica 2. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de febrero de 2004 a 2006



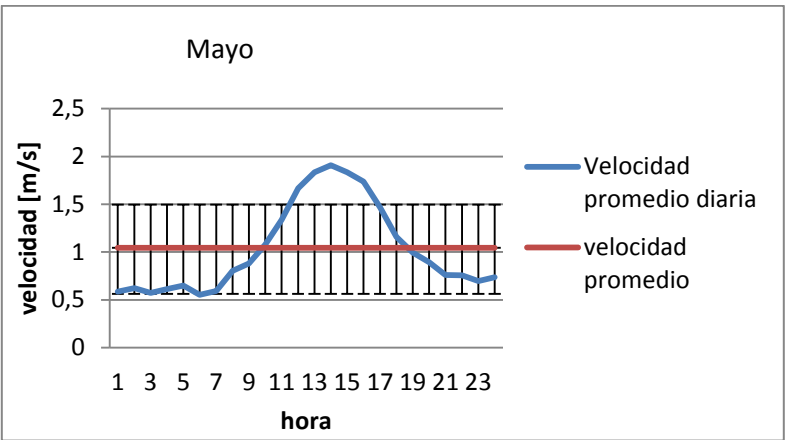
Gráfica 3. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de marzo de 2004 a 2006



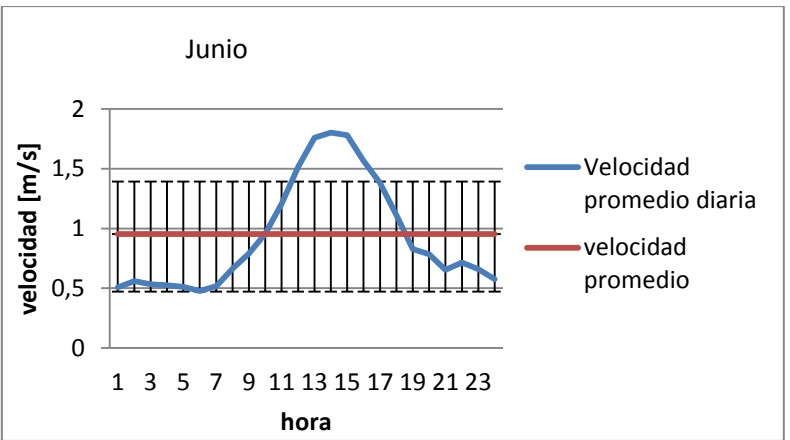
Gráfica 4. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de abril de 2004 a 2006



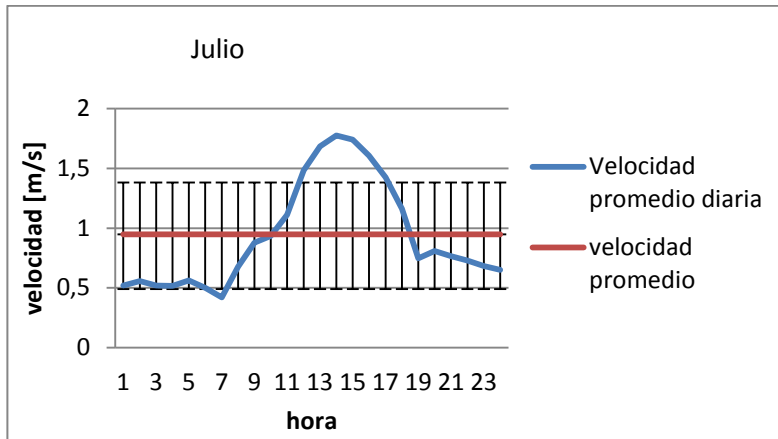
Gráfica 5. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de mayo de 2004 a 2006



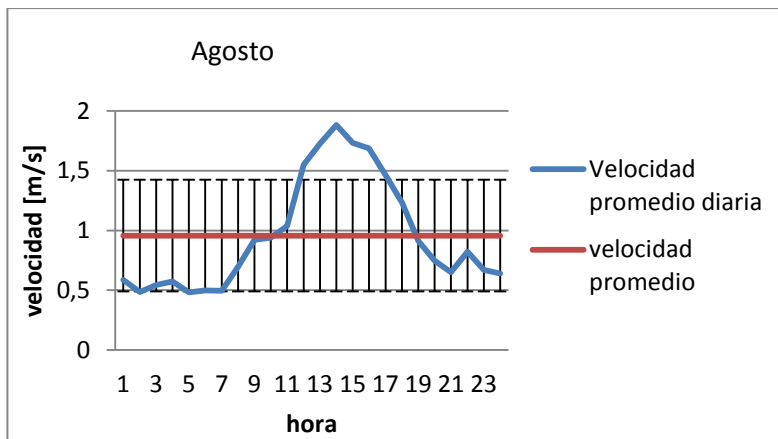
Gráfica 6. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de junio de 2004 a 2006



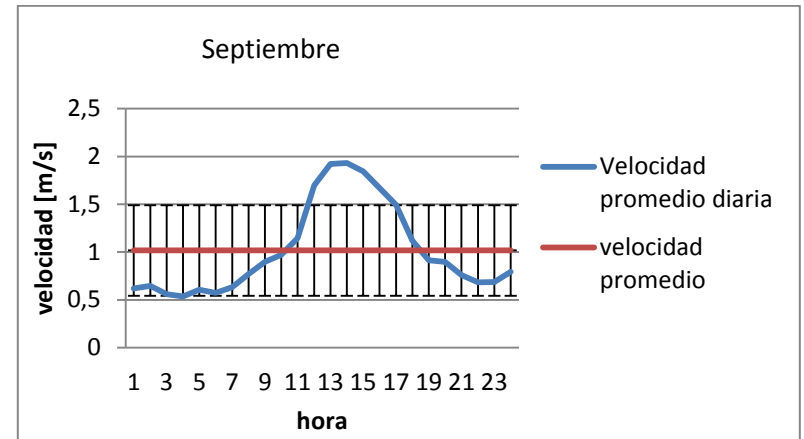
Gráfica 7. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de julio de 2004 a 2006



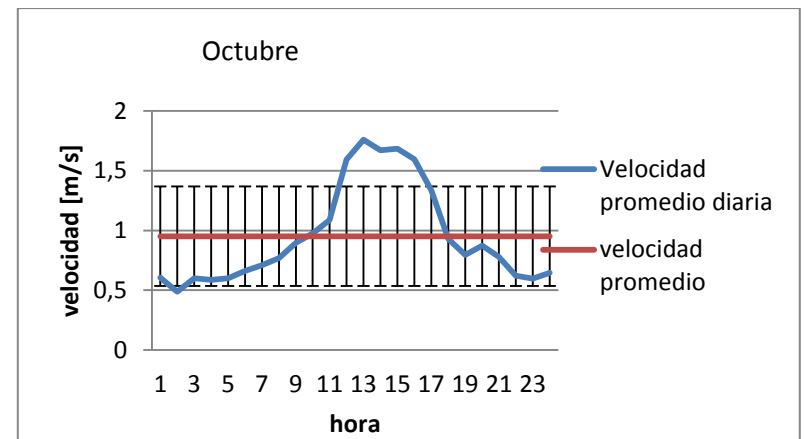
Gráfica 8. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de agosto de 2004 a 2006



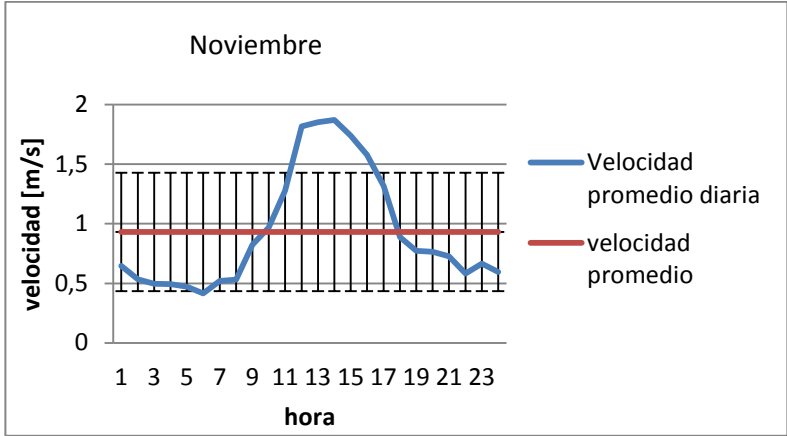
Gráfica 9. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de septiembre de 2004 a 2006



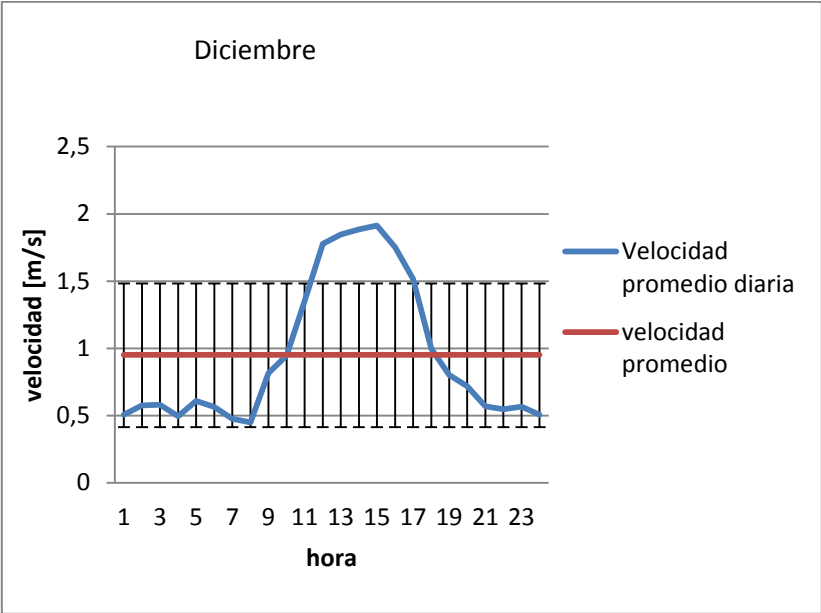
Gráfica 10. Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de octubre de 2004 a 2006



Gráfica 11 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de noviembre de 2004 a 2006

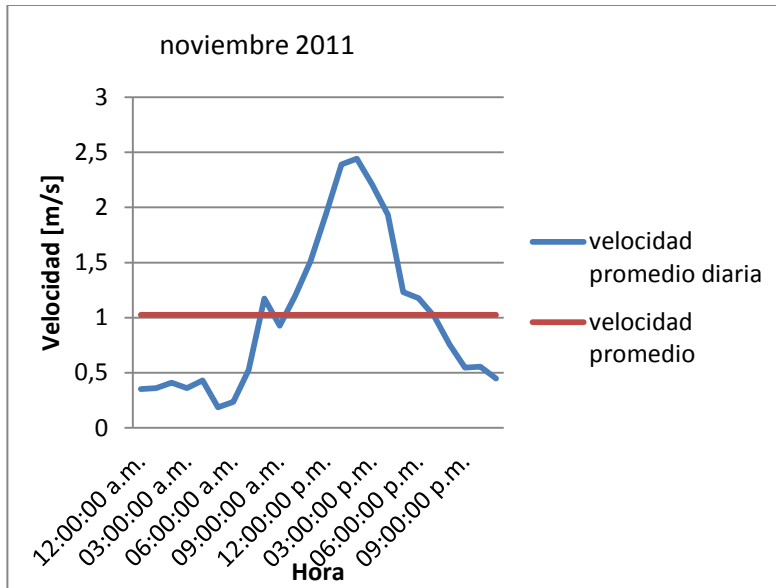


Gráfica 12 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de diciembre de 2004 a 2006

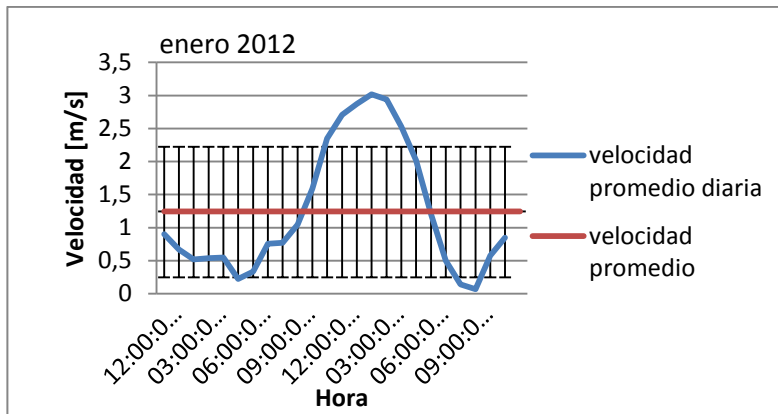


Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Mecánica.

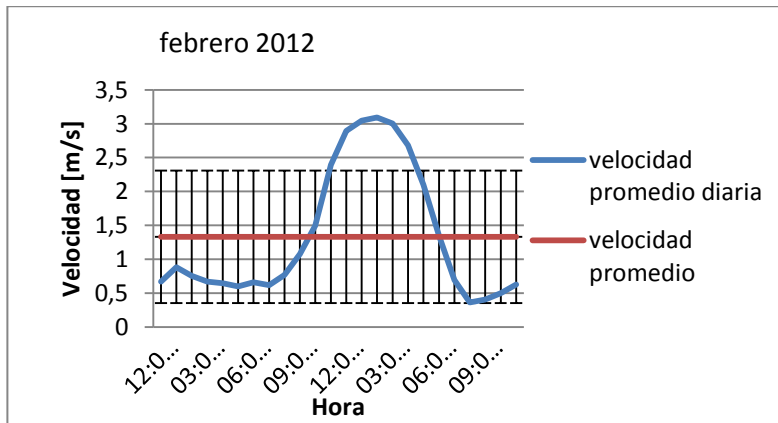
Gráfica 13 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de noviembre de 2011.



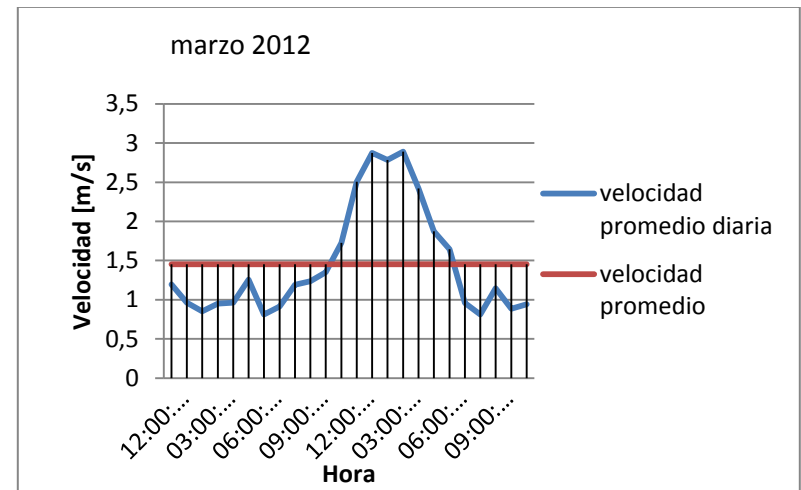
Gráfica 14 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de enero de 2012.



Gráfica 15 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de febrero de 2012.

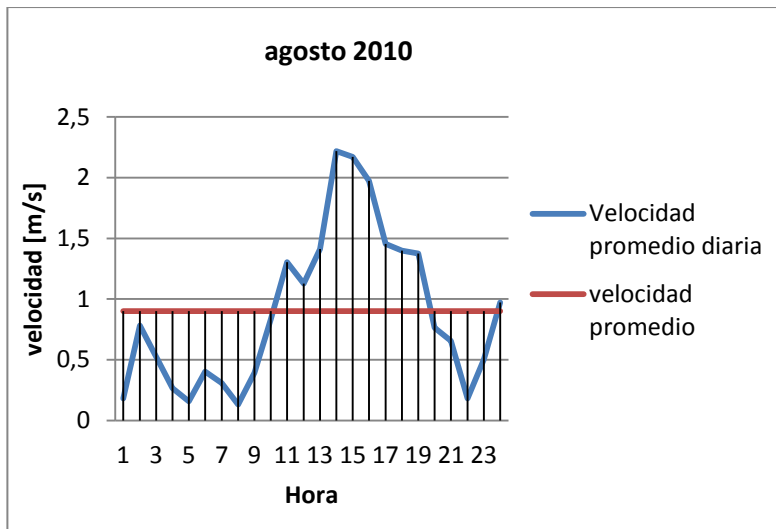


Gráfica 16 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de marzo de 2012.

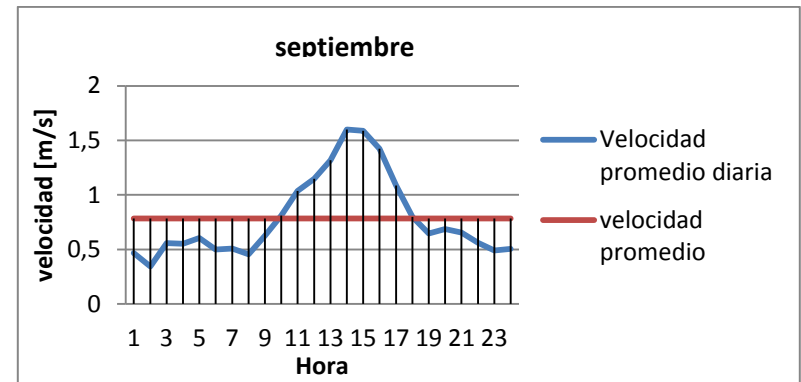


Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones.

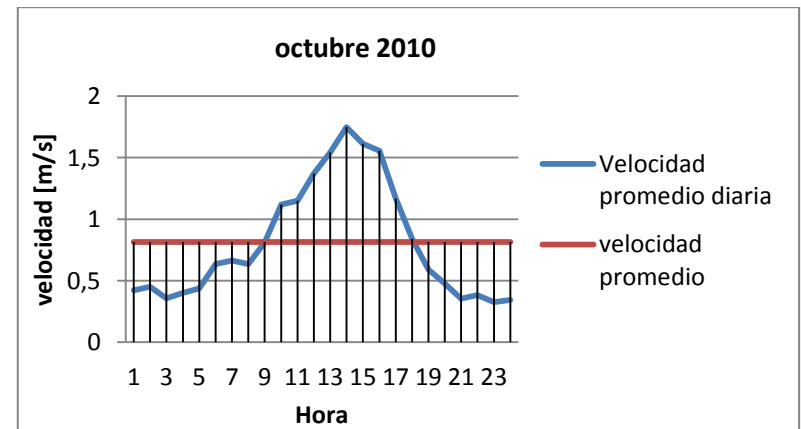
Gráfica 17 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de agosto de 2010.



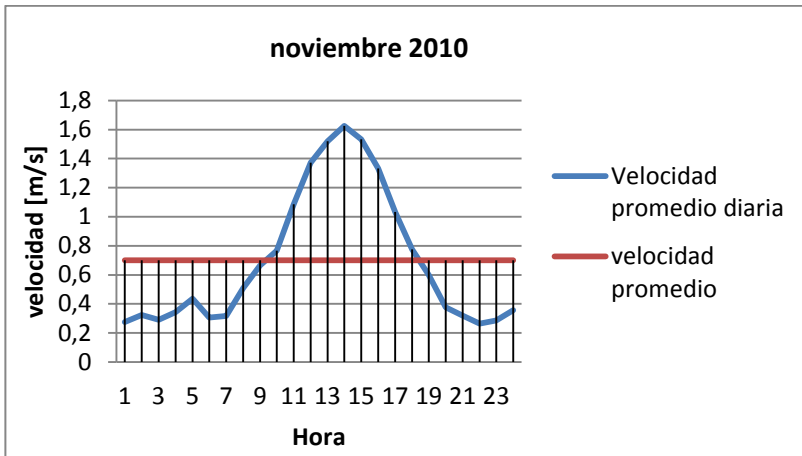
Gráfica 18 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de septiembre de 2010.



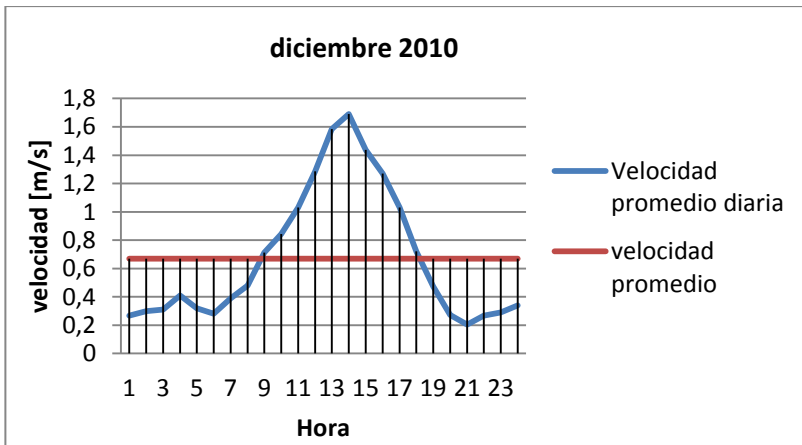
Gráfica 19 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de octubre de 2010.



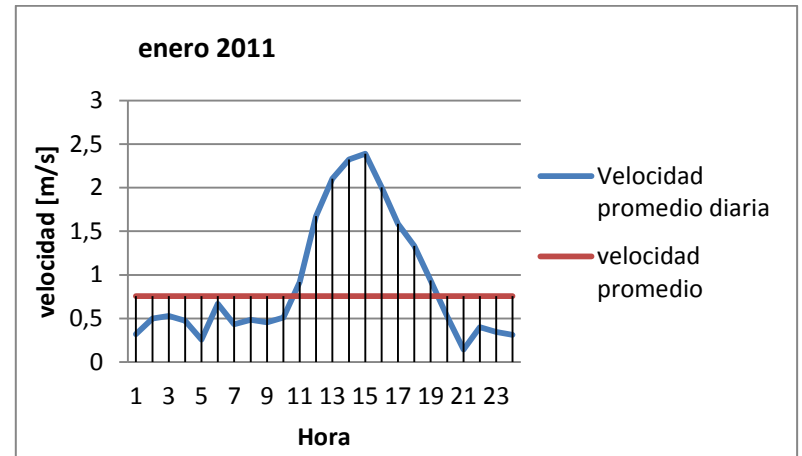
Gráfica 20 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de noviembre de 2010.



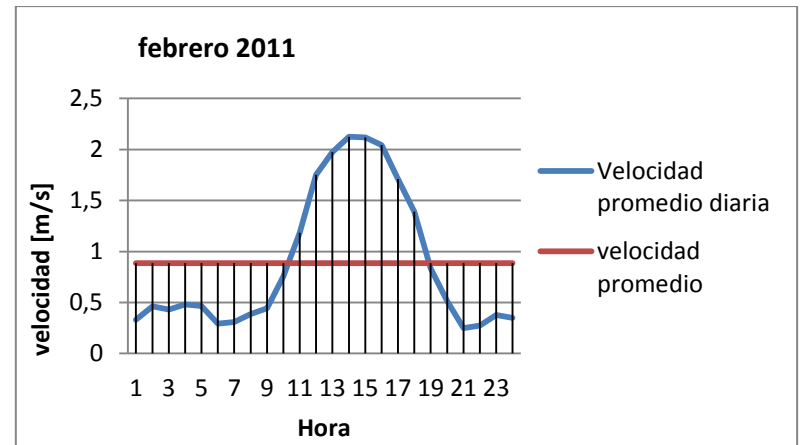
Gráfica 21 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de diciembre de 2010.



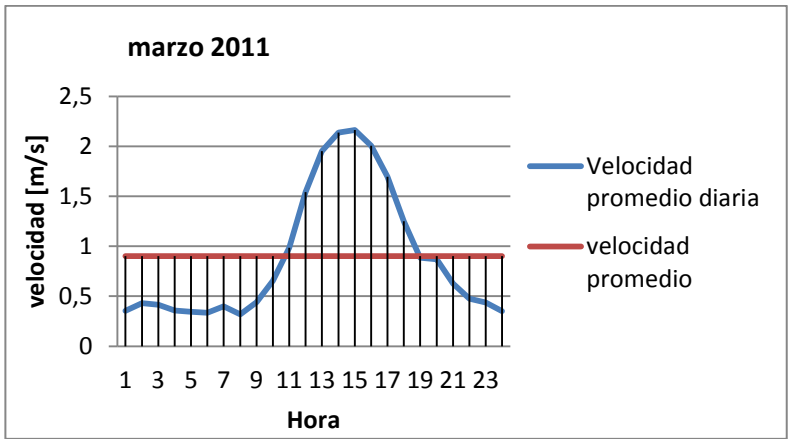
Gráfica 22 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de enero 2011.



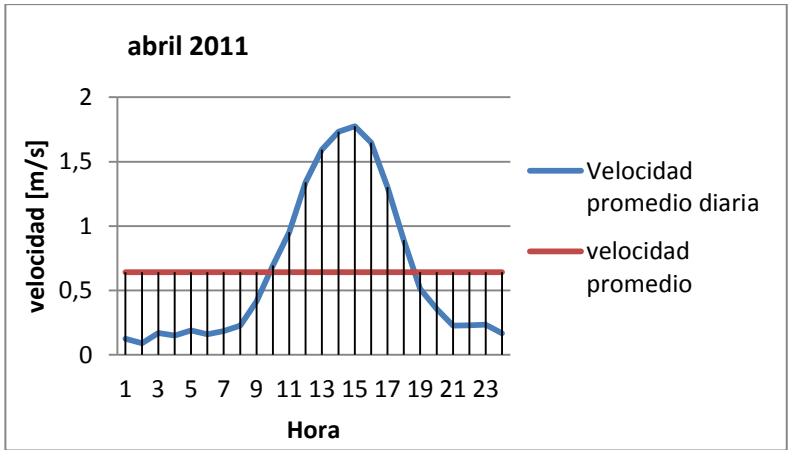
Gráfica 23 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de febrero de 2011.



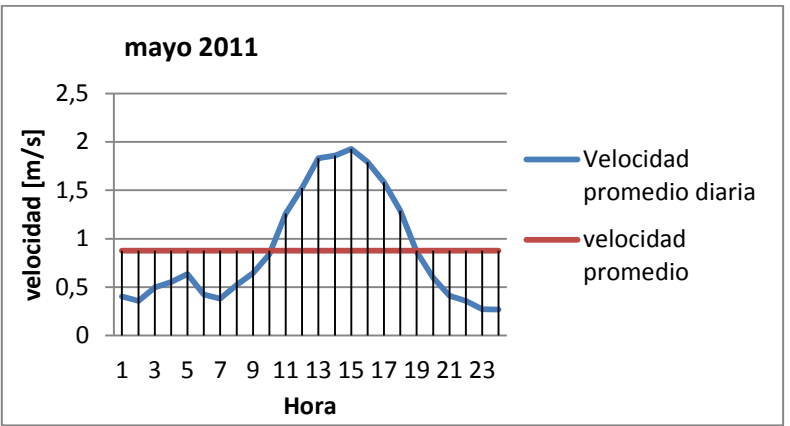
Gráfica 24 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de marzo de 2011.



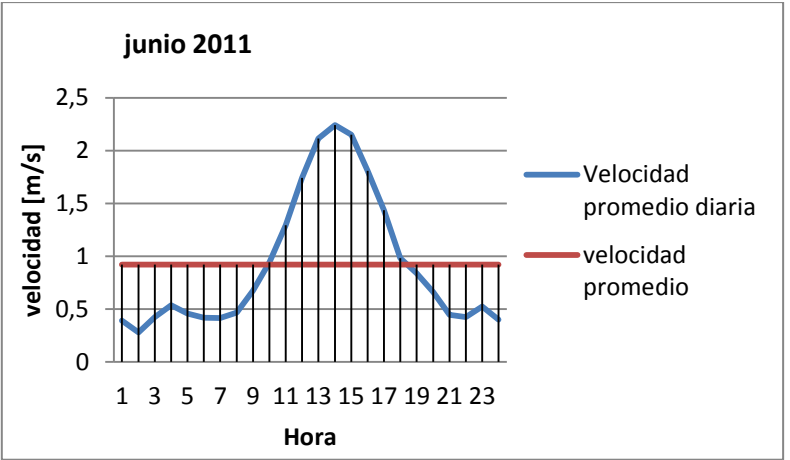
Gráfica 25 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de abril de 2011.



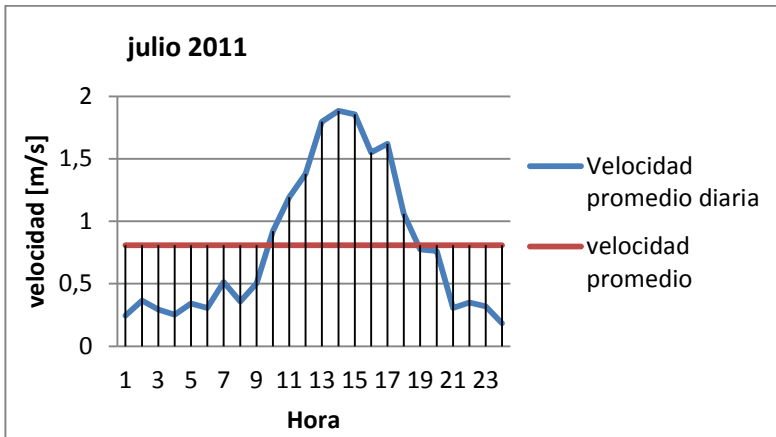
Gráfica 26 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de mayo de 2011.



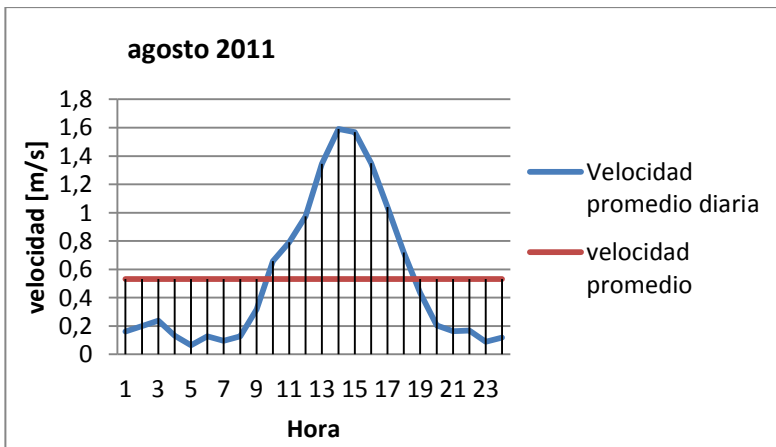
Gráfica 27 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de junio de 2011.



Gráfica 28 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de julio de 2011.



Gráfica 29 Variaciones mensuales del viento por hora promedio; mes de agosto de 2011.



**ANEXO D. TABLAS DE MÁXIMA VELOCIDAD DE VIENTO – RESUMEN
ESTADÍSTICO Y DATOS PARA LA ROSA DE VIENTOS USADOS PARA CADA
ESTACIÓN METEOROLÓGICA.**

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Química:

Tabla 1. Máxima Velocidad de viento con su respectiva dirección del viento para cada uno de los meses del año.

RESUMEN 2004 AL 2006	DIRECCIÓN DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO [m/s]
ENERO	SE	1,303726115
FEBRERO	SE	1,509253247
MARZO	SE	1,491589242
ABRIL	SE	1,403120805
MAYO	SE	1,336835821
JUNIO	SE	1,303726115
JULIO	SE	1,350601093
AGOSTO	SE	1,38654321
SEPTIEMBRE	SE	1,43
OCTUBRE	SE	1,399698795
NOVIEMBRE	SE	1,313385827
DICIEMBRE	SE	1,383356164

Fuente: Los Autores

Tabla 2. Resumen estadístico general de los datos del edificio de Ingeniería Química

<i>RESUMEN GENERAL 2004 AL 2006</i>	
Media	0,99935753
Error típico	0,004718465
Mediana	0,87
Moda	0,6
Desviación estándar	0,647272936
Varianza de la muestra	0,418962254
Curtosis	0,000295618
Coefficiente de asimetría	0,727022577
Rango	5,57
Mínimo	0
Máximo	5,57
Suma	18805,91

Fuente: Los Autores

Tabla 3. Datos para la Rosa de los vientos de frecuencia y velocidad del viento- General.

Grados	Grupos	Frecuencia	Frecuencia %	Velocidad [m/s]
N	22,5	1068	5,68%	0,883814433
<u>NNE</u>	45	674	3,58%	0,802759644
NE	67,5	450	2,39%	0,595466667
ENE	90	422	2,24%	0,405616114
E	112,5	449	2,39%	0,548775056
ESE	135	1480	7,86%	1,484898649
SE	157,5	3044	16,18%	1,389523653
<u>SSE</u>	180	3792	20,15%	1,118014241
S	202,5	2358	12,53%	0,902366412
<u>SSW</u>	225	1323	7,03%	0,725177627
SW	247,5	937	4,98%	0,725177627
<u>WSW</u>	270	605	3,21%	0,668082645
W	292,5	297	1,58%	0,476801347
<u>WNW</u>	315	366	1,94%	0,474754098
NW	337,5	435	2,31%	0,631287356
<u>NNW</u>	360	1119	5,95%	1,049231457
		18819	100%	

Fuente: Los Autores

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Mecánica:

Tabla 4. Máxima Velocidad de viento con su respectiva dirección de procedencia para cada uno de los meses del año.

RESUMEN	DIRECCIÓN DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO [m/s]
NOVIEMBRE	SSE	1,341085271
ENERO	SSW	2,342857143
FEBRERO	NNW	2,159302326
MARZO	SSW	2,446783626

Fuente: Los Autores

Tabla 5. Resumen estadístico general de los datos del edificio de Ingeniería Mecánica.

<i>De noviembre de 2011 a marzo de 2012</i>	
Media	1,323772265
Error típico	0,029496797
Mediana	0,95
Moda	0,65
Desviación estándar	1,067604783
Varianza de la muestra	1,139779972
Curtosis	0,032376003
Coficiente de asimetría	0,886625108
Rango	6,8
Mínimo	0
Máximo	6,8
Suma	1734,141667
Cuenta	1310

Fuente: Los Autores

Tabla 6. Datos para la Rosa de los vientos de frecuencia y velocidad del viento- General.

Dirección	# de datos	Frecuencia %	Velocidad [m/s]
N	296	4,01%	0,782094595
NNE	1062	14,39%	1,905649718
NE	1519	20,58%	1,776497696
ENE	925	12,53%	0,795027027
E	502	6,80%	0,748605578
ESE	401	5,43%	0,610473815
SE	139	1,88%	0,875539568
SSE	213	2,89%	1,072769953
S	70	0,95%	0,975714286
SSW	310	4,20%	1,991290323
SW	423	5,73%	1,61749409
WSW	194	2,63%	0,612886598
W	222	3,01%	0,523873874
WNW	97	1,31%	0,625773196
NW	228	3,09%	1,703947368
NNW	781	10,58%	2,127272727

Fuente: Los Autores

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica:

Tabla 7. Máxima Velocidad de viento con su respectiva dirección para cada uno de los meses del año.

RESUMEN	DIRECCIÓN DEL VIENTO	VELOCIDAD DEL VIENTO [m/s]
SEPTIEMBRE	S	1,89613734
OCTUBRE	S	1,52793522
NOVIEMBRE	N	1,0048474
DICIEMBRE	NNE	0,9524618
FEBRERO	NNE	1,47235195
MARZO	N	1,43015873
ABRIL	N	1,13318386
MAYO	N	1,37277179
JUNIO	N	1,54966378
JULIO	N	1,49655172
AGOSTO	NW	1,07198444

Fuente: Los Autores

Tabla 8. Resumen estadístico general de los datos del edificio de Ingeniería Eléctrica.

<i>Resumen General</i>	
Media	0,784734203
Error típico	0,008850283
Mediana	0,566666667
Moda	0
Desviación estándar	0,709017581
Varianza de la muestra	0,50270593
Curtosis	0,611388189
Coficiente de asimetría	1,033485182
Rango	4,916666667
Mínimo	0
Máximo	4,916666667

Fuente: Los Autores

Tabla 9. Datos para la Rosa de los vientos de frecuencia y velocidad del viento-
General.

Dirección	# de datos	Frecuencia %	Velocidad [m/s]
N	14403	20,99%	1,20501284
<u>NNE</u>	17114	24,94%	1,12128082
NE	6850	9,98%	0,58782482
ENE	2747	4,00%	0,43006917
E	2358	3,44%	0,46840543
ESE	1460	2,13%	0,45664384
SE	1476	2,15%	0,7751355
SSE	2432	3,54%	1,18055099
S	2581	3,76%	1,25172414
SSW	2004	2,92%	0,80404192
SW	1878	2,74%	0,67470714
<u>WSW</u>	1399	2,04%	0,56368835
W	2078	3,03%	0,52834456
<u>WNW</u>	1527	2,22%	0,51748527
NW	2983	4,35%	0,71894066
NNW	5343	7,78%	0,71815459

Fuente: Los Autores

ANEXO E. TABLAS DE VELOCIDAD MEDIA DE VIENTO MENSUAL Y VALORES DE k Y c (DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL) PARA LAS DIFERENTES ESTACIONES METEOROLÓGICAS.

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Química:

Tabla 1. Datos de la Velocidad media de viento mensual para el año 2004.

AÑO 2004	
Mes	Velocidad media del viento
Enero	0,96798906
Febrero	1,09812207
Marzo	1,04663978
Abril	0,95333333
Mayo	0,975
Junio	0,87648829
Diciembre	0,99247706

Fuente: Los Autores

Tabla 2. Datos de la Velocidad media de viento mensual para el año 2005.

AÑO 2005	
Mes	Velocidad media del viento
Enero	0,94281113
Febrero	1,06832504
Marzo	1,17134494
Abril	1,09582803
Mayo	1,16191199
Junio	1,10062612
Julio	1,16508108
Agosto	0,97823925
Septiembre	1,01935725
Octubre	1,0904607
Noviembre	0,93035874
Diciembre	0,94491892

Fuente: Los Autores

Tabla 3. Datos de la Velocidad media de viento mensual para el año 2006.

AÑO 2006	
Mes	Velocidad media del viento
Enero	1,00177347
Febrero	1,13249175
Marzo	0,96939516
Abril	0,9461958
Mayo	1,00772849
Junio	0,89427778
Julio	0,84127688
Agosto	0,93619624
Septiembre	1,01458509
Octubre	0,71659091

Fuente: Los Autores

Tabla 4. Resumen para los datos de la Velocidad media de viento mensual para el año 2004 a 2006.

RESUMEN		
Mes	Velocidad media del viento	Total velocidad media del viento
Enero de 2004	0,967989056	0,970613909
Enero de 2005	0,942811127	
Enero de 2006	1,001773472	
Febrero de 2004	1,098122066	1,099669913
Febrero de 2005	1,068325041	
Febrero de 2006	1,132491749	
Marzo de 2004	1,046639785	1,056707547
Marzo de 2005	1,171344937	
Marzo de 2006	0,969395161	
Abril de 2004	0,953333333	0,994236549
Abril de 2005	1,095828025	
Abril de 2006	0,946195804	
Mayo de 2004	0,975	1,043712156
Mayo de 2005	1,161911988	
Mayo de 2006	1,007728495	
Junio de 2004	0,876488294	0,950063932
Junio de 2005	1,100626118	
Junio de 2006	0,894277778	
Julio de 2005	1,165081081	0,948824057
Julio de 2006	0,841276882	
Agosto de 2005	0,978239247	0,957217742
Agosto de 2006	0,936196237	
Septiembre de 2005	1,01935725	1,016898551
Septiembre de 2006	1,014585091	
Octubre de 2005	1,090460705	0,950814941
Octubre de 2006	0,716590909	
Noviembre de 2005	0,930358744	0,951024735
Diciembre de 2004	0,992477064	0,951024735
Diciembre de 2005	0,944918919	

Fuente: Los Autores

Tabla 5. Valores de parámetros k y c de Weibull.

Mes	Año	Forma (Factor k)	Escala (Factor c)
Enero	2004 a 2006	1,545229475	0,53634048
Febrero		1,662677674	0,653453179
Marzo		1,763105385	0,630287687
Abril		1,661790527	0,640617494
Mayo		1,321119934	0,533848985
Junio		1,623953412	0,606930272
Julio		0,683554237	0,220466799
Agosto		0,897521707	0,327890731
Septiembre		1,532221595	0,587339155
Octubre		1,216452574	0,479266293
Noviembre		1,057784305	0,378802415
Diciembre		1,356808136	0,489886134
Periodo- Enero de 2004 a Diciembre de 2006		1,620367076	0,744676836

Fuente: Los autores

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Mecánica:

Tabla 6. Resumen para los datos de la Velocidad media de viento mensual para noviembre del año 2011, además enero, febrero y marzo del año 2012.

RESUMEN	
Mes	Velocidad media del viento
Noviembre de 2011	1,024456522
Enero de 2012	1,247435897
Febrero de 2012	1,332974138
Marzo de 2012	1,453323699

Fuente: Los autores

Tabla 7. Valores de parámetros k y c de Weibull.

Mes	Año	Forma (Factor k)	Escala (Factor c)
Noviembre	2011	1,089373357	1,149058116
Enero	2012	1,905544377	0,864842082
Febrero		0,846945736	0,738250787
Marzo		1,013229699	0,857117595
Periodo- Noviembre de 2011 a Marzo de 2012		1,128084754	0,813650609

Fuente: Los autores

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica:

Tabla .8 Datos de la Velocidad media de viento mensual para el año 2010.

AÑO 2010	
Mes	Velocidad media del viento
Agosto	0,899635417
Septiembre	0,785422549
Octubre	0,8132281
Noviembre	0,70060974
Diciembre	0,669816149

Fuente: Los Autores

Tabla 9. Datos de la Velocidad media de viento mensual para el año 2011.

AÑO 2011	
Mes	Velocidad media del viento
Enero	0,754537
Febrero	0,8862964
Marzo	0,9020174
Abril	0,6406221
Mayo	0,8779773
Junio	0,9198124
Julio	0,8068468
Agosto	0,5316218

Fuente: Los Autores

Tabla 10. Resumen de los datos de la Velocidad media de viento mensual para el año 2010 y 2011.

RESUMEN		
Mes	Velocidad media del viento	Total velocidad media del viento
Agosto de 2010	0,899635417	0,715628595
Agosto de 2011	0,531621773	
Septiembre de 2010	0,785422549	0,785422549
Octubre de 2010	0,8132281	0,8132281
Noviembre de 2010	0,70060974	0,70060974
Diciembre de 2010	0,669816149	0,669816149
Enero de 2011	0,754537037	0,754537037
Febrero de 2011	0,886296429	0,886296429
Marzo de 2011	0,902017423	0,902017423
Abril de 2011	0,640622135	0,640622135
Mayo de 2011	0,877977324	0,877977324
Junio de 2011	0,919812441	0,919812441
Julio de 2011	0,806846847	0,806846847

Fuente: Los Autores

Tabla 11. Valores de parámetros k y c de Weibull.

Mes	Año	Forma (Factor k)	Escala (Factor c)
Septiembre	2010	1,789911391	1,032049267
Octubre		1,288481636	0,890206559
Noviembre		1,63157832	0,886436464
Diciembre		1,630773061	0,863157733
Enero	2011	2,725037878	1,012565701
Febrero		1,578036906	1,049969115
Marzo		1,470345547	1,022437073
Abril		1,183843796	0,813596017
Mayo		1,396672305	1,007502425
Junio		1,380483697	1,045568282
Julio		1,32286539	0,95590471
Agosto		2,745283849	0,949267647
Periodo- Septiembre de 2010 hasta Agosto de 2011		1,897730996	1,072744824

Fuente: Los autores

ANEXO F. TABLAS RESUMEN DE CANTIDAD DE HORAS DE OCURRENCIA DE VELOCIDADES PROMEDIO Y TABLAS PARA LA DENSIDAD DE POTENCIA.

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Química:

Tabla 1. Resumen de cantidad de horas de ocurrencia de velocidades.

EDIFICIO INGENIERÍA QUÍMICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	NÚMERO DE HORAS SOBRE PROMEDIO	
			< 1 [m/s]	>= 1 [m/s]
Enero	2004	0,967989056	16	8
Febrero		1,098122066	15	9
Marzo		1,046639785	16	8
Abril		0,953333333	14	10
Mayo		0,975	15	9
Junio		0,876488294	16	8
Diciembre		0,992477064	17	7
Enero	2005	0,942811127	15	9
Febrero		1,068325041	15	9
Marzo		1,171344937	15	9
Abril		1,095828025	15	9
Mayo		1,161911988	13	11
Junio		1,100626118	15	9
Julio		1,165081081	11	13
Agosto		0,978239247	16	8
Septiembre		1,01935725	15	9
Octubre		1,090460705	13	11
Noviembre		0,930358744	17	7
Diciembre		0,944918919	17	7
Enero	2006	1,001773472	16	8
Febrero		1,132491749	15	9
Marzo		0,969395161	16	8
Abril		0,946195804	16	8
Mayo		1,007728495	15	9
Junio		0,894277778	16	8
Julio		0,841276882	16	8
Agosto		0,936196237	16	8
Septiembre		1,014585091	16	8
Octubre		0,716590909	16	8

Fuente: Los Autores

Tabla 2. Velocidades promedio de viento por mes y densidad de potencia para una altura de 12 [m].

EDIFICIO INGENIERÍA QUÍMICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]
Enero	2004	0,967989056	1,432179299
Febrero		1,098122066	1,869648167
Marzo		1,046639785	1,568520435
Abril		0,953333333	1,383200487
Mayo		0,975	1,374480303
Junio		0,876488294	1,040592375
Diciembre		0,992477064	1,585846446
Enero	2005	0,942811127	1,199834783
Febrero		1,068325041	1,68331812
Marzo		1,171344937	1,91197302
Abril		1,095828025	1,814069102
Mayo		1,161911988	1,993786078
Junio		1,100626118	1,66725884
Julio		1,165081081	2,550301169
Agosto		0,978239247	1,503444656
Septiembre		1,01935725	1,419117583
Octubre		1,090460705	1,705186206
Noviembre		0,930358744	1,136460242
Diciembre		0,944918919	1,204631128
Enero	2006	1,001773472	1,33811815
Febrero		1,132491749	1,748598387
Marzo		0,969395161	1,283783324
Abril		0,946195804	1,205215874
Mayo		1,007728495	1,40959662
Junio		0,894277778	1,009615158
Julio		0,841276882	0,857971585
Agosto		0,936196237	1,196204483
Septiembre		1,014585091	1,55869254
Octubre		0,716590909	0,943657228

Fuente: Los Autores

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Mecánica:

Tabla 3. Resumen de cantidad de horas de ocurrencia de velocidades.

EDIFICIO INGENIERÍA MECÁNICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	NÚMERO DE HORAS SOBRE PROMEDIO	
			< 1 [m/s]	>= 1 [m/s]
Noviembre	2011	1,024456522	13	11
Enero	2012	1,247435897	14	10
Febrero		1,332974138	14	10
Marzo		1,453323699	10	14

Fuente: Los Autores

Tabla 4. Velocidades promedio de viento por mes y densidad de potencia.

EDIFICIO INGENIERÍA MECÁNICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s](a 12 [m] de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]
Noviembre	2011	1,024456522	1,401233163
Enero	2012	1,247435897	3,890597141
Febrero		1,332974138	4,328273784
Marzo		1,453323699	6,516669811

Fuente: Los Autores

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica:

Tabla 5. Resumen de cantidad de horas de ocurrencia de velocidades.

EDIFICIO INGENIERÍA ELÉCTRICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	NÚMERO DE HORAS SOBRE PROMEDIO	
			< 0,8 [m/s]	>= 0,8 [m/s]
Agosto	2010	0,899635417	13	11
Septiembre		0,785422549	16	8
Octubre		0,8132281	14	10
Noviembre		0,70060974	17	7
Diciembre		0,669816149	16	8
Enero	2011	0,754537	15	9
Febrero		0,8862964	15	9
Marzo		0,9020174	14	10
Abril		0,6406221	16	8
Mayo		0,8779773	14	10
Junio		0,9198124	14	10
Julio		0,8068468	15	9
Agosto		0,7156286	18	6

Fuente: Los Autores

Tabla 6. Velocidades promedio de viento por mes y densidad de potencia.

EDIFICIO INGENIERÍA ELÉCTRICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s]	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]
Agosto	2010	0,899635417	1,128622196
Septiembre		0,785422549	1,12627514
Octubre		0,8132281	1,146215154
Noviembre		0,70060974	0,736441192
Diciembre		0,669816149	0,694926796
Enero	2011	0,754537	1,104029303
Febrero		0,8862964	1,530120721
Marzo		0,9020174	1,618305191
Abril		0,6406221	0,953095192
Mayo		0,8779773	1,476629405
Junio		0,9198124	1,797835449
Julio		0,8068468	1,23048401
Agosto		0,5316218	0,554491393

Fuente: Los Autores

ANEXO G. TABLAS DE VELOCIDAD MENSUAL DEL VIENTO Y TABLAS PARA LA DENSIDAD DE POTENCIA DE ACUERDO CON LA ALTURA.

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Mecánica:

Tabla 1. Velocidad media mensual del viento para las diferentes alturas- periodo de noviembre de 2011 a marzo de 2012.

VELOCIDAD MEDIA MENSUAL DEL VIENTO				
EDIFICIO INGENIERÍA MECÁNICA	AÑO	12 Metros	30 Metros	40 Metros
Noviembre	2011	1,024456522	1,324242735	1,451937742
Enero	2012	1,247435897	1,520429737	1,667042803
Febrero		1,332974138	1,789341885	1,961885799
Marzo		1,453323699	1,951116027	2,139259612

Fuente: Los autores.

Tabla 2. Tabla de las diferentes densidades de potencia de acuerdo con la altura – periodo noviembre de 2011 a marzo de 2012.

EDIFICIO INGENIERÍA MECÁNICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s](a 12 [m] de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s](a 30 [m] de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s](a 40 [m] de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m ²]
Noviembre	2011	1,024456522	1,401233163	1,324242735	4,770250853	1,451937742	6,287425157
Enero	2012	1,247435897	3,890597141	1,520429737	9,376454956	1,667042803	12,36318294
Febrero		1,332974138	4,328273784	1,789341885	10,4312687	1,961885799	13,75295183
Marzo		1,453323699	6,516669811	1,951116027	15,70536828	2,139259612	21,05677812

Fuente: Los autores.

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica:

Tabla 3. Velocidad media mensual del viento para las diferentes alturas – periodo agosto de 2010 a agosto de 2011.

VELOCIDAD MEDIA MENSUAL DEL VIENTO				
Meses	año	12 Metros	30 Metros	40 Metros
Agosto	2010	0,899635417	1,206166736	1,322475828
Septiembre		0,785422549	0,85213114	0,934301039
Octubre		0,8132281	1,00229465	1,098944622
Noviembre		0,70060974	0,851609691	0,933729307
Diciembre		0,669816149	0,809224228	0,88725667
Enero		2011	0,754537037	1,01162922
Febrero	0,886296429		1,188282777	1,302867342
Marzo	0,902017423		1,206901435	1,323281374
Abril	0,640622135		0,860019193	0,942949728
Mayo	0,877977324		1,178489287	1,292129479
Junio	0,919812441		1,23472286	1,353785582
Julio	0,806846847		1,084605541	1,189192645
Agosto	0,531621773		0,713962356	0,782808819

Fuente: Los autores.

Tabla 4. Tabla de las diferentes densidades de potencia de acuerdo con la altura – periodo agosto de 2010 a agosto de 2011.

EDIFICIO INGENIERÍA ELÉCTRICA	AÑO	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s] (a 12 m de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m²]	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s] (a 30 m de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m²]	VELOCIDAD PROMEDIO [m/s] (a 40 m de altura)	DENSIDAD DE POTENCIA [W/m²]
Agosto	2010	0,899635417	1,128622196	1,206166736	2,720013098	1,322475828	3,58519005
Septiembre		0,785422549	1,12627514	0,85213114	2,205414756	0,934301039	2,906909178
Octubre		0,8132281	1,146215154	1,00229465	2,539637436	1,098944622	3,347440817
Noviembre		0,70060974	0,736441192	0,851609691	1,607220932	0,933729307	2,118442921
Diciembre		0,669816149	0,694926796	0,809224228	1,505845725	0,88725667	1,984822468
Enero		2011	0,754537	1,104029303	1,01162922	2,660743495	1,109179312
Febrero	0,8862964		1,530120721	1,188282777	3,687636498	1,302867342	4,860593389
Marzo	0,9020174		1,618305191	1,206901435	3,89480633	1,323281374	5,133659435
Abril	0,6406221		0,953095192	0,860019193	2,296987793	0,942949728	3,027609605
Mayo	0,8779773		1,476629405	1,178489287	3,558720835	1,292129479	4,69067246
Junio	0,9198124		1,797835449	1,23472286	4,332836965	1,353785582	5,711018078
Julio	0,8068468		1,23048401	1,084605541	2,965503102	1,189192645	3,90876508
Agosto	0,5316218		0,554491393	0,713962356	1,336340767	0,782808819	1,761401674

Fuente: Los autores.

Estación meteorológica IDEAM:

Tabla 5. Velocidad media mensual del viento- estación meteorológica del IDEAM- UIS.

MESES	VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO [m/s]
Enero	2
Febrero	2
Marzo	1,89
Abril	2,1
Mayo	2
Junio	1,9
Julio	2
Agosto	2
Septiembre	2,1
Octubre	2
Noviembre	1,9
Diciembre	1,9

Fuente: Los autores.

Tabla 6. Velocidad media horaria del viento- estación meteorológica del IDEAM- UIS.

HORAS	VELOCIDAD DEL VIENTO [m/s]
00:00	1,125
01:00	1,14
02:00	1,125
03:00	1,13
04:00	1,16
05:00	1,18
06:00	1,2
07:00	1,23
08:00	1,3
09:00	1,4
10:00	1,51
11:00	2
12:00	2,75
13:00	3,1

Fuente: Los autores

**ANEXO H. CÁLCULOS ESTADÍSTICOS DE LOS DATOS DE VIENTO TOMADOS
POR LAS DIFERENTES ESTACIONES METEOROLÓGICAS.**

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Química

<i>Datos</i>	<i>Enero 2004-2006</i>	<i>Febrero 2004 a 2006</i>	<i>Marzo 2004 a 2006</i>	<i>Abril 2004 a 2006</i>
Media	0,970613909	1,099669913	1,056707547	0,994236549
Error típico	0,013826549	0,015687634	0,014065201	0,014401869
Mediana	0,81	0,97	0,9	0,87
Moda	0,3	0,8	0,6	0,5
Desviación estándar	0,63134511	0,674385842	0,647610491	0,654136644
Varianza de la muestra	0,398596648	0,454796263	0,419399348	0,427894749
Curtosis	-0,406363745	-0,514267487	-0,649550012	0,026182372
Coefficiente de asimetría	0,658710768	0,601816209	0,579978666	0,741877728
Rango	3,1	3,17	3,15	4
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	3,1	3,17	3,15	4
Suma	2023,73	2032,19	2240,22	2051,11
Cuenta	2085	1848	2120	2063
Nivel de confianza(95,0%)	0,027115286	0,030767361	0,027583043	0,028243724

<i>Datos</i>	<i>Mayo 2004 a 2006</i>	<i>Junio 2004 a 2006</i>	<i>Julio 2005 a 2006</i>	<i>Agosto 2005 a 2006</i>
Media	1,043712156	0,950063932	0,948824057	0,957217742
Error típico	0,01424693	0,014053838	0,019546958	0,016634905
Mediana	0,93	0,83	0,79	0,81
Moda	0,7	0,46	0,76	0,31
Desviación estándar	0,660141938	0,608873524	0,652411767	0,641684842
Varianza de la muestra	0,435787378	0,370726968	0,425641114	0,411759436
Curtosis	-0,333292816	-0,269859978	3,385176237	0,65004958
Coefficiente de asimetría	0,606006416	0,665908932	1,275859906	0,880027579
Rango	3,35	3,14	5,55	4,14
Mínimo	0	0	0,02	0,01
Máximo	3,35	3,14	5,57	4,15
Suma	2240,85	1783,27	1056,99	1424,34
Cuenta	2147	1877	1114	1488
Nivel de confianza(95,0%)	0,027939228	0,0275628	0,038353042	0,032630373

Datos	Septiembre 2005 y 2006	Octubre 2005 a 2006	Diciembre 2004 a 2005
Media	1,016898551	0,950814941	0,951024735
Error típico	0,017422249	0,019705537	0,02124999
Mediana	0,89	0,84	0,82
Moda	0,89	0,2	0,58
Desviación estándar	0,647207829	0,676333522	0,619173796
Varianza de la muestra	0,418877974	0,457427033	0,383376189
Curtosis	-0,142870636	0,14790654	-0,227337283
Coefficiente de asimetría	0,734962161	0,809701808	0,749517582
Rango	3,57	3,8	2,98
Mínimo	0,02	0	0,02
Máximo	3,59	3,8	3
Suma	1403,32	1120,06	807,42
Cuenta	1380	1178	849
Nivel de confianza(95,0%)	0,034176978	0,038661899	0,041708745

Fuente: Los Autores

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Mecánica

Datos	Noviembre 2011	Enero 2012	Febrero 2012	Marzo 2012
Media	1,024456522	1,247435897	1,332974138	1,453323699
Error típico	0,069484202	0,097076538	0,038889642	0,064205702
Mediana	0,8	0,841666667	0,966666667	1,033333333
Moda	0,733333333	0	0,733333333	0,65
Desviación estándar	0,816254555	1,106842825	1,025979222	1,194295095
Varianza de la muestra	0,666271499	1,22510104	1,052633364	1,426340773
Curtosis	-0,541580652	-1,037987382	-0,780879226	0,699168945
Coefficiente de asimetría	0,746728517	0,621631813	0,719833373	1,05967197
Rango	2,916666667	3,583333333	4,016666667	6,8
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	2,916666667	3,583333333	4,016666667	6,8
Suma	141,375	162,1666667	927,75	502,85
Cuenta	138	130	696	346
Nivel de confianza(95,0%)	0,13740023	0,192068307	0,076355269	0,126283878

Fuente: Los Autores

Estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Datos	Agosto 2010	Septiembre 2010	Octubre 2010	Noviembre 2010
Media	0,899635417	0,785422549	0,8132281	0,70060974
Error típico	0,112390173	0,027290526	0,02526291	0,023254237
Mediana	0,794166667	0,6	0,641666667	0,504166667
Moda	#N/A	0	0,066666667	0,066666667
Desviación estándar	0,635774826	0,660069754	0,660710839	0,593780436
Varianza de la muestra	0,40420963	0,43569208	0,436538813	0,352575206
Curtosis	-0,711416869	2,800731862	2,161002569	-
Coefficiente de asimetría	0,559261503	1,40546184	1,198119596	0,477275491
Rango	2,218333333	4,358333333	4,633333333	0,796874523
Mínimo	0	0	0	2,4
Máximo	2,218333333	4,358333333	4,633333333	0
Suma	28,78833333	459,472191	556,2480203	2,4
Cuenta	32	585	684	456,7975505
Nivel de confianza(95,0%)	0,229221269	0,053599531	0,049602293	652
				0,045662361

Datos	Diciembre 2010	Enero 2011	Febrero 2011	Marzo 2011
Media	0,669816149	0,754537037	0,886296429	0,902017423
Error típico	0,029263513	0,072467192	0,033891338	0,028509393
Mediana	0,475	0,508333333	0,613333333	0,65
Moda	0,066666667	0,033333333	0,133333333	0,133333333
Desviación estándar	0,592540975	0,687484152	0,767621972	0,768696993
Varianza de la muestra	0,351104807	0,472634459	0,589243493	0,590895067
Curtosis	-0,371637323	0,529059404	-0,611568644	0,29749437
Coefficiente de asimetría	0,847817917	1,229197223	0,749448611	0,919317319
Rango	2,408333333	2,525	3,783333333	4,916666667
Mínimo	0	0	0	0
Máximo	2,408333333	2,525	3,783333333	4,916666667
Suma	274,6246212	67,90833333	454,6700682	655,7666667
Cuenta	410	90	513	727
Nivel de confianza(95,0%)	0,05752566	0,143990768	0,066583198	0,055970694

Datos	Abril 2011	Mayo 2011	Junio 2011	Julio 2011	Agosto 2011
Media	0,640622135	0,877977324	0,919812441	0,806846847	0,531621773
Error típico	0,031586646	0,027621718	0,030115783	0,052849875	0,024392208
Mediana	0,333333333	0,65	0,65	0,583333333	0,266666667
Moda	0	0,133333333	0,133333333	0	0
Desviación estándar	0,712627224	0,748849186	0,797926174	0,71883601	0,594489693
Varianza de la muestra	0,507837561	0,560775104	0,636686179	0,516725209	0,353417995
Curtosis	0,109824769	-0,196206634	0,442441858	0,00719166	0,096341123
Coeficiente de asimetría	1,057867046	0,847130406	1,025279653	0,873201459	1,091252935
Rango	2,766666667	3,35	4,683333333	2,983333333	2,366666667
Mínimo	0	0	0	0	0
Máximo	2,766666667	3,35	4,683333333	2,983333333	2,366666667
Suma	326,0766667	645,3133333	645,7083333	149,2666667	315,7833333
Cuenta	509	735	702	185	594
Nivel de confianza(95,0%)	0,062056539	0,054226991	0,059127938	0,10426966	0,047905624

Fuente: Los Autores

ANEXO I. DECRETO DE LEY.

DIARIO OFICIAL 44573

LEY 697 DE 2001

(Octubre 3)

Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.

El Congreso de Colombia,

DECRETA:

Artículo 1°. Declárese el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

Artículo 2°. El Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la presente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.

Artículo 3°. Definiciones. Para efectos de interpretar y aplicar la presente ley se entiende por

1. URE: Es el aprovechamiento óptimo de la energía en todas y cada una de las cadenas energéticas, desde la selección de la fuente energética, su producción, transformación, transporte, distribución, y consumo incluyendo su reutilización cuando sea posible, buscando en todas y cada una de las actividades, de la cadena el desarrollo sostenible.

2. Uso eficiente de la energía: Es la utilización de la energía, de tal manera que se obtenga la mayor eficiencia energética, bien sea de una forma original de energía y/o durante cualquier actividad de producción, transformación, transporte, distribución y consumo de las diferentes formas de energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad, vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.
3. Desarrollo sostenible: Se entiende por desarrollo sostenible el que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de la vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades.
4. Aprovechamiento óptimo: Consiste en buscar la mayor relación beneficio-costos en todas las actividades que involucren el uso eficiente de la energía, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.
5. Fuente energética: Todo elemento físico del cual podemos obtener energía, con el objeto de aprovecharla. Se dividen en fuentes energéticas convencionales y no convencionales.
6. Cadena Energética: Es el conjunto de todos los procesos y actividades tendientes al aprovechamiento de la energía que comienza con la fuente energética misma y se extiende hasta su uso final.
7. Eficiencia Energética: Es la relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética, dentro del marco del desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.
8. Fuentes convencionales de energía: Para efectos de la presente ley son fuentes convencionales de energía aquellas utilizadas de forma intensiva y ampliamente comercializadas en el país.
9. Fuentes no convencionales de energía: Para efectos de la presente ley son fuentes no convencionales de energía, aquellas fuentes de energía disponibles a nivel mundial que

son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleadas o son utilizadas de manera marginal y no se comercializan ampliamente.

10. Energía Solar: Llámese energía solar, a la energía transportada por las ondas electromagnéticas provenientes del sol.
11. Energía Eólica: Llámese energía eólica, a la energía que puede obtenerse de las corrientes de viento.
12. Geotérmica: Es la energía que puede obtenerse del calor del subsuelo terrestre.
13. Biomasa: Es cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos.
14. Pequeños aprovechamientos hidroenergéticos: Es la energía potencial de un caudal hidráulico en un salto determinado que no supere el equivalente a los 10 MW.

Artículo 4°. Entidad responsable. El Ministerio de Minas y Energía, será la entidad responsable de promover, organizar, asegurar el desarrollo y el seguimiento de los programas de uso racional y eficiente de la energía de acuerdo a lo dispuesto en la presente ley, y cuyo objetivo es:

1. Promover y asesorar los proyectos URE, presentados por personas naturales o jurídicas de derecho público o privado, de acuerdo con los lineamientos del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales (PROURE), estudiando la viabilidad económica, financiera, tecnológica y ambiental.
2. Promover el uso de energías no convencionales dentro del programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de Energía no Convencionales (PROURE), estudiando la viabilidad tecnológica, ambiental y económica.

Artículo 5°. Creación de PROURE. Créase el Programa de Uso Racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales "PROURE", que diseñará el

Ministerio de Minas y Energía, cuyo objeto es aplicar gradualmente programas para que toda la cadena energética, esté cumpliendo permanentemente con los niveles mínimos de eficiencia energética y sin perjuicio de lo dispuesto en la normatividad vigente sobre medio ambiente y los recursos naturales renovables.

Artículo 6°. Obligaciones especiales de las empresas de servicios públicos. Además de las obligaciones que se desprendan de programas particulares que se diseñen, las Empresas de Servicios Públicos que generen, suministren y comercialicen energía eléctrica y gas y realicen programas URE, tendrán la obligación especial dentro del contexto de esta ley, de realizar programas URE para los usuarios considerando el aspecto técnico y financiero del mismo y asesorar a sus usuarios para la implementación de los programas URE que deban realizar en cumplimiento de la presente ley.

Artículo 7°. Estímulos y sanciones.

1. Para la investigación: El Gobierno Nacional propenderá por la creación de programas de investigación en el Uso Racional y Eficiente de la Energía a través de Colciencias, según lo establecido en la Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991.
2. Para la educación: El ICETEX beneficiará con el otorgamiento de préstamos a los estudiantes que quieran estudiar carreras o especializaciones orientadas en forma específica a aplicación en el campo URE.
3. Reconocimiento Público: El Gobierno Nacional creará distinciones para personas naturales o jurídicas, que se destaquen en el ámbito nacional en aplicación del URE; las cuales se otorgarán anualmente. El Ministerio de Minas y Energía dará amplio despliegue a los galardonados en los medios de comunicación más importantes del país.
4. Generales: El Gobierno Nacional establecerá los incentivos e impondrá las sanciones, de acuerdo con el programa de uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, de acuerdo a las normas legales vigentes.

Artículo 8°. Divulgación. El Ministerio de Minas y Energía en coordinación con las entidades públicas y privadas pertinentes diseñara estrategias para la educación y fomento

del Uso Racional y Eficiente de la Energía dentro de la ciudadanía, con base en campañas de información utilizando medios masivos de comunicación y otros canales idóneos.

Las empresas de servicios públicos que presten servicios de Energía eléctrica y gas deberán imprimir en la carátula de recibo de factura o cobro, mensajes motivando, el Uso racional y Eficiente de la Energía y sus beneficios con la preservación del medio ambiente.

Artículo 9°. Promoción del uso de fuentes no convencionales de energía. El Ministerio de Minas y Energía formulará los lineamientos de las políticas, estrategias e instrumentos para el fomento y la promoción de las fuentes no convencionales de energía, con prelación en las zonas no interconectadas.

Artículo 10. El Gobierno Nacional a través de los programas que se diseñen, incentivará y promoverá a las empresas que importen o produzcan piezas, calentadores, paneles solares, generadores de biogás, motores eólicos, y/o cualquier otra tecnología o producto que use como fuente total o parcial las energías no convencionales, ya sea con destino a la venta directa al público o a la producción de otros implementos, orientados en forma específica a proyectos en el campo URE, de acuerdo a las normas legales vigentes.

Artículo 11. Vigencia. La presente ley rige a partir de la fecha de su promulgación y deroga las disposiciones que le sean contrarias.

El Presidente del honorable Senado de la República, Carlos
García Orjuela.

El Secretario General del honorable Senado de la República, Manuel
Enríquez Rosero.

El Presidente de la honorable Cámara de Representantes, Guillermo
Gaviria Zapata.

El Secretario General de la honorable Cámara de Representantes, Angelino
Lizcano Rivera.

REPUBLICA DE COLOMBIA – GOBIERNO NACIONAL

Publíquese y cúmplase.

Dada en Bogotá, D. C., a 3 de octubre de 2001.

ANDRES PASTRANA ARANGO

El Ministro de Minas y Energía, Luis
Ramiro Valencia Cossio.

ANEXO J. CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL AIRE, SEGÚN EL CIPM.

La ecuación general para determinar la densidad de potencia según CIPM- 2007 es:

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT} \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right]$$

Donde:

ρ_a es la densidad del aire, kg m^{-3}

p es la presión atmosférica, Pa

T es la temperatura termodinámica del aire, K

M_a es la masa molar del aire seco, kg mol^{-1}

M_v es la masa molar del agua, kg mol^{-1}

R es la constante molar de los gases, $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$

Z es el factor de compresibilidad

x_v es la fracción molar del vapor de agua

Ecuaciones auxiliares:

$$Z = 1 - \frac{p}{T} \cdot [a_0 + a_1t + a_2t^2 + (b_0 + b_1t)x_v + (c_0 + c_1t)x_v^2] + \frac{p^2}{T^2} \cdot (d + ex_v^2)$$

$$x_v = hf(p, t) \cdot \frac{p_{sv}(t)}{p}$$

$$p_{sv} = 1 \text{ Pa} \times \exp(AT^2 + BT + C + D/T),$$

$$f = \alpha + \beta p + \gamma t^2,$$

Las constantes requeridas para el cálculo de la densidad del aire son:

CONSTANTE					
ao	1,58123E-06	alfa	1,00062	Ma [kg/mol]	0,02896546
a1	-2,93310E-08	beta	3,14E-08	R [J/(K*mol)]	8,314472
a2	1,10430E-10	gamma	5,60E-07	Mv [kg/mol]	0,01801528
bo	5,70700E-06	A	1,24E-05		
b1	-2,05100E-08	B	-1,91E-02		
co	1,98980E-04	C	33,9371105		
c1	-2,37600E-06	D	-6,34E+03		
d	1,83000E-11				
e	-7,65000E-09				

Datos requeridos:

P	1008,84425
[hPa]	9
P [Pa]	100884,425
t [°C]	22,5802998
T [K]	295,730299
hr %	85,5090987
	7

El dato requerido de presión atmosférica, temperatura y humedad relativa se tomó de los valores registrados por la estación meteorológica del edificio de Ingeniería Eléctrica.

El valor calculado de densidad del aire según el CIPM es de 1,18 [kg/m³]

ANEXO K. FICHA TÉCNICA- AEROGENERADORES.

Surface Power Technologies

HAWT – 0,46 kW

Contact name: John Quinn
 Address: Castlebar, Co.Mayo
 Telephone: +353 (0) 8795 45117
 Country: Ireland

SP 460W / 0,46 kW



SP 460 – 0,46 kW references

Site	Use	Country
Dorset	Home Electricity	England
Cork	Home Electricity	Ireland
Orkney Island	Home Electricity	Scotland
Donegal	Home Electricity	Ireland

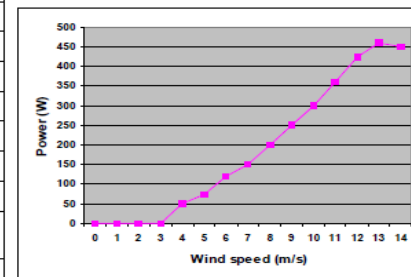
Technical information

POWER		Unit
1) Rated power	0,46	kW
2) Rated wind speed	12,5	m/s
3) Cut-in wind speed	3	m/s
4) Cut-out wind speed	None	m/s
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	216	km/h
DIMENSIONS		
6) Nacelle and rotor weight	17	kg
7) Rotor diameter	1,4	m
8) Rotor height (for VAWT only)	-	m
9) Swept area	1,96	m ²
10) Height of the mast	7+	m
OTHER INFORMATION		
11) Maximum rpm	DK	At rated wind speed
12) Gear box type	None	
13) Brake system	Electromagnetic	
14) Number of blades	3	
15) Blades material	Composite fibre glass	
16) Output voltage	12	V
17) Minimum operation temperature	DK	°C
18) Maximum operation temperature	DK	°C
19) Acoustic levels at a distance of 20 m ? at nacelle ? (wind = 5 m/s)	Silent	DB
20) Lifetime	30	Years
21) Is the machine self-starting	Yes	
22) Use of an asynchronous generator	No	
23) Yaw control system	Wind vane	
24) Upwind or downwind	Upwind	

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power (W)
1	0
2	0
3	0
4	50
5	75
6	120
7	150
8	200
9	250
10	300
11	360
12	425
13	460
14	450

Power curve:



Marlec Engineering Co Ltd

HAWT – From 0,025 kW to 0,34 kW

Contact name: Teresa Auciello
 Address: Rutland House, Trevithick Rd, Corby, Northants NN17 5XY
 Telephone: +44 (0) 1536 201 588
 Country: **United Kingdom**

Rutland 503 – 0,025 kW references

Site	Use	Country
Elliott Durham Comprehensive School, Nottingham	Educational	UK
Sandy Upper School and Community Sports College	Educational	UK
Cromwell Park Primary School, Huntingdon	Educational	UK

Rutland 503 / 0,025 kW



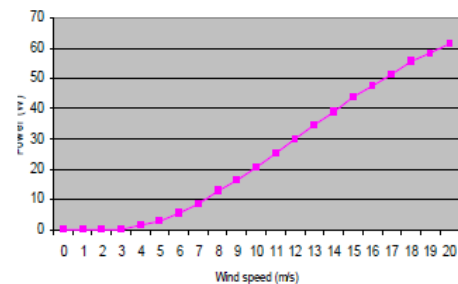
Technical information

POWER		Unit	
1) Rated power	0,025	kW	
2) Rated wind speed	10	m/s	
3) Cut-in wind speed	2,6	m/s	
4) Cut-out wind speed	None	m/s	
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	> 137	km/h	
DIMENSIONS			
6) Nacelle and rotor weight	3	kg	
7) Rotor diameter	0,500	m	
8) Rotor height (for VAWT only)	-	m	
9) Swept area	0,196	m ²	
10) Height of the mast	Variable up to 6,5	m	
OTHER INFORMATION			
11) Maximum rpm	DK	At rated wind speed	
12) Gear box type	None		
13) Brake system	DK		
14) Number of blades	6		
15) Blades material	Glass reinforced plastic		
16) Output voltage	12 or 24	V	
17) Minimum operation temperature	-25	°C	
18) Maximum operation temperature	DK	°C	
19) Acoustic levels at a distance of 20 m? at nacelle? (wind = 5 m/s)	DK	DB	
20) Lifetime	15	Years	
21) Is the machine self-starting	Yes		
22) Use of an asynchronous generator	No		
23) Yaw control system	Wind vane		
24) Upwind or downwind	Upwind		

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power (W)
1	0
2	0
3	1
4	2
5	4
6	6
7	10
8	14
9	20
10	26
11	28
12	36
13	39
14	44
15	56

Power curve:



Marlec Engineering Co Ltd

HAWT – From 0,025 kW to 0,34 kW

Contact name: Teresa Auciello
 Address: Rutland House, Trevithick Rd, Corby, Northants NN17 5XY
 Telephone: +44 (0) 1536 201 588
 Country : United Kingdom

Rutland 913 – 0,09 kW references

Site	Use	Country
Rutland Water	Water level monitoring	UK
Southampton	Sailing boat	UK
	Street lighting	Taiwan
A6006 road sign	Safety sign	UK

Rutland 913/ 0,09 kW



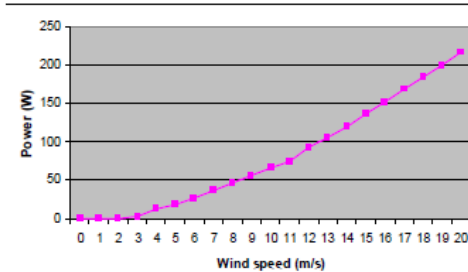
Technical information

POWER		Unit	
1) Rated power	0,09	kW	
2) Rated wind speed	10	m/s	
3) Cut-in wind speed	2,6	m/s	
4) Cut-out wind speed	None	m/s	
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	> 137	Km/h	
DIMENSIONS			
6) Nacelle and rotor weight	13	Kg	
7) Rotor diameter	0,913	m	
8) Rotor height (for VAWT only)	-	m	
9) Swept area	0,655	m ²	
10) Height of the mast	Variable up to 6,5	m	
OTHER INFORMATION			
11) Maximum rpm	DK	At	rated wind speed
12) Gear box type	None		
13) Brake system	DK		
14) Number of blades	6		
15) Blades material	Glass reinforced plastic		
16) Output voltage	12 or 24	V	
17) Minimum operation temperature	-25	°C	
18) Maximum operation temperature	DK	°C	
19) Acoustic levels at a distance of 20 m? at nacelle? (wind = 5 m/s)	DK	DB	
20) Lifetime	15	Years	
21) Is the machine self-starting	Yes		
22) Use of an asynchronous generator	No		
23) Yaw control system	Wind vane		
24) Upwind or downwind	Upwind		

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power (W)
1	0
2	0
3	2
4	14
5	21
6	28
7	44
8	50
9	66
10	83
11	87
12	92
13	121
14	138
15	159

Power curve:



ATLANTIS Windkraft

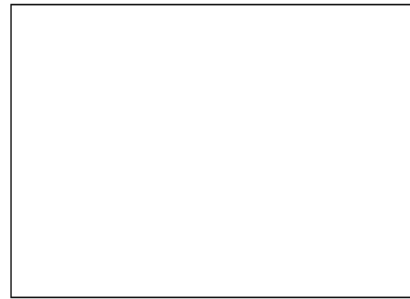
HAWT from 0,3 kW to 0,6 kW.

Contact name: Kottwitz Raimund
 Address: Holzstr. 10, 31556 Wölpinghausen
 Telephone: +49 5037 988 03
 Country : Germany

Atlantis WB 15 references

Site	Use	Country
Berlin	About 20 projects in Berlin (7 schools, 1 high school, 4 practical education centres, ...).	Germany

WB 15 / 0,3 kW



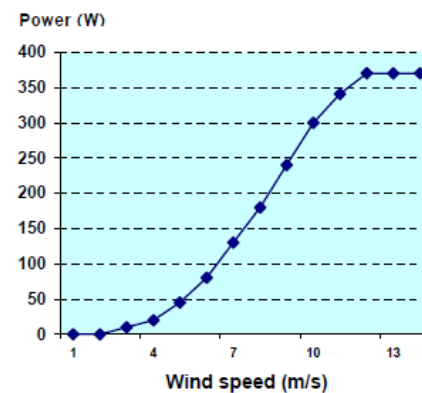
Technical information

		Unit
1) Rated power	0,3	kW
2) Rated wind speed	10	m/s
3) Cut-in wind speed	3	m/s
4) Cut-out wind speed	None	m/s
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	No limit	Km/h
DIMENSIONS		
6) Rotor weight	23	kg
7) Rotor diameter	1,5	m
8) Rotor height (for VAWT only)		m
9) Swept area	1,8	m ²
10) Height of the mast	3/6/ 9/12	m
OTHER INFORMATION		
11) Maximum rpm		At rated wind speed
12) Gear box type		
13) Brake system		
14) Number of blades		3
15) Blades material		Composite fibre glass
16) Output voltage	12 – 24	V
17) Minimum operation temperature	Tested in arctic	°C
18) Maximum operation temperature	+ 90	°C
19) Acoustic levels at a distance of 20 m ? at nacelle ? (wind = 5 m/s)	78	DB
20) Lifetime	20	Years
21) Is the machine self-starting		Yes
22) Use of an asynchronous generator		No
23) Yaw control system		Wind vane
24) Upwind or downwind		

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power (W)
1	0
2	0
3	10
4	20
5	
6	80
7	
8	180
9	
10	300
11	
12	370
13	
14	370

Power curve:



Sviab

HAWT of 0,75 kW

Contact name: Lars Wikberg
 Address: Vetershaga, 76010 Bergshamra
 Telephone: +46 176 26 42 24
 Country : Sweden

Sviab VK 240 references

Site	Use	Country
Orraids Ltd	Radio communication	Canada
Phuket	Test station	Thailand
National Swedish Building Research	Test station	Antarctic
ASFA/ARR	Test station	New Zealand

Sviab VK 240 / 0,75 kW



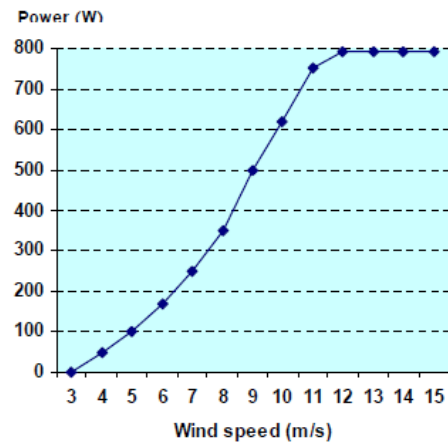
Technical information

POWER		Unit
1) Rated power	0,75	kW
2) Rated wind speed	12	m/s
3) Cut-in wind speed	2,5	m/s
4) Cut-out wind speed	None	m/s
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	216	Km/h
DIMENSIONS		
6) Rotor weight	18	kg
7) Rotor diameter	2,4	m
8) Rotor height (for VAWT only)		m
9) Swept area	4,91	m ²
10) Height of the mast	7 / 11	m
OTHER INFORMATION		
11) Maximum rpm	270-1000	At rated wind speed
12) Gear box type	Answer not provided	
13) Brake system	Answer not provided	
14) Number of blades	3	
15) Blades material	Polyuréthane	
16) Output voltage	12 - 24	V
17) Minimum operation temperature	- 40	°C
18) Maximum operation temperature	+ 50	°C
19) Acoustic levels at a distance of 20 m ? at nacelle ? (wind = 5 m/s)	Answer not provided	DB
20) Lifetime	Answer not provided	Years
21) Is the machine self-starting	Yes	
22) Use of an asynchronous generator	No	
23) Yaw control system	Answer not provided	
24) Upwind or downwind	Answer not provided	

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power (W)
1	0
2	0
3	0
4	50
5	100
6	170
7	250
8	350
9	500
10	620
11	750
12	790
13	790
14	790
15	790

Power curve:



Venturi Wind b.v.(i.o.)

VAWT from 0,11 kW to 0,50 kW

Contact name: D.P. Elzinga
 Address: Stationsweg 18-7429 AD Deventer-
 Colmschate
 Telephone: +31 0570-510246
 Country : Netherlands

Venturi 110-500 references

Site	Use	Country
Waalwijk	Test battery charging	Netherlands
Beek & Donk	Test battery charging	Netherlands
Deventer	Test battery charging + grid con.	Netherlands

Venturi 110-500



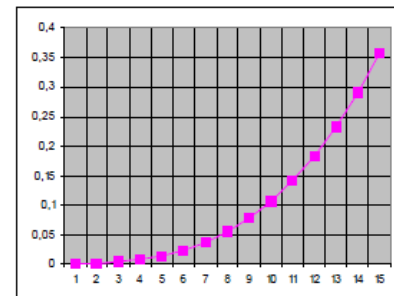
Technical information

POWER		Unit
1) Rated power	0,5	kW
2) Rated wind speed	17	m/s
3) Cut-in wind speed	2	m/s
4) Cut-out wind speed	None	m/s
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	>145	km/h
DIMENSIONS		
6) Rotor weight	30	Kg
7) Rotor diameter	1,1	m
8) Rotor height (for VAWT only)	1,3	m
9) Swept area	1	m ²
10) Height of the mast	11	m
OTHER INFORMATION		
11) Maximum rpm	803	At rated wind speed
12) Gear box type		None
13) Brake system		Electrical
14) Number of blades		6
15) Blades material		Flat blade polyester
16) Output voltage	100	V
17) Minimum operation temperature	-25	°C
18) Maximum operation temperature	50	°C
19) Acoustic levels at a distance of 20 m ? at nacelle ? (wind = 5 m/s)	Not audible	DB
20) Lifetime	15	Years
21) Is the machine self-starting		Yes
22) Use of an asynchronous generator		No
23) Yaw control system		Vane
24) Upwind or downwind		Upwind

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power* (W)
1	0
2	0,7
3	3
4	7
5	13
6	23
7	36
8	54
9	77
10	106
11	141
12	183
13	232
14	290
15	357

Power curve



Ampair

HAWT – 0,1 to 0,3 kW

Contact name: George Durrant
 Address: The Doughty Building, Crow Arch Lane,
 Ringwood, Hampshire, BH24 1NZ
 Telephone: +44 (0) 1425 480 780
 Country: **United Kingdom**

Ampair 0.1 kW references

Site	Use	Country
Regis Road Recycling Centre, Camden, London	Electricity generation	UK

Ampair Pacific Hawk / 0,1 kW



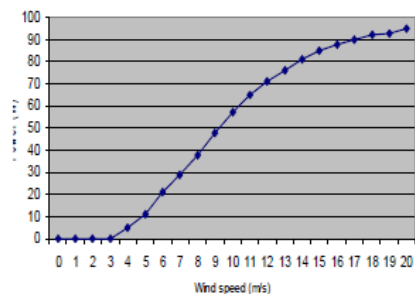
Technical information

POWER			Unit
1) Rated power	0,1		kW
2) Rated wind speed	20		m/s
3) Cut-in wind speed	3,5		m/s
4) Cut-out wind speed	None		m/s
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	Storm-proof		km/h
DIMENSIONS			
6) Nacelle and rotor weight	12,6		kg
7) Rotor diameter	0,928		m
8) Rotor height (for VAWT only)	-		m
9) Swept area	0,68		m ²
10) Height of the mast	Variable		m
OTHER INFORMATION			
11) Maximum rpm	DK	At rated wind speed	
12) Gear box type		None	
13) Brake system		Inductors	
14) Number of blades		6	
15) Blades material		Glass filled polypropylene	
16) Output voltage	12 / 24		V
17) Minimum operation temperature	- 30		°C
18) Maximum operation temperature		High temperatures not a problem	°C
19) Acoustic levels at a distance of 20 m? at nacelle? (wind = 5 m/s)	20 at nacelle in strong winds		DB
20) Lifetime	10		Years
21) Is the machine self-starting		Yes	
22) Use of an asynchronous generator		No	
23) Yaw control system		Wind vane, free yaw	
24) Upwind or downwind		Upwind	

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power (W)
1	0
2	0
3	0
4	05
5	11
6	21
7	29
8	38
9	48
10	57
11	65
12	71
13	76
14	81
15	85
16	88
17	90
18	92
19	93
20	95

Power curve



Ampair

HAWT – 0,1 to 0,3 kW

Contact name: George Durrant
 Address: The Doughty Building, Crow Arch Lane,
 Ringwood, Hampshire, BH24 1NZ
 Telephone: +44 (0) 1425 480 780
 Country: **United Kingdom**

Ampair 0,3 kW references

Site	Use	Country
None available yet		

Ampair Pacific Hawk / 0,3 kW



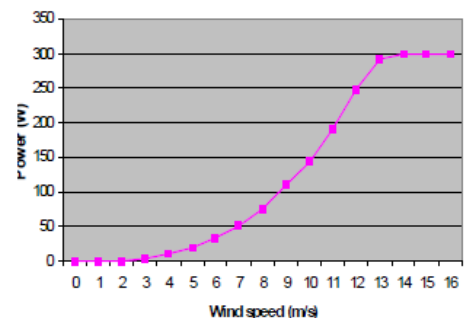
Technical information

POWER		Unit
1) Rated power	0,3	kW
2) Rated wind speed	12,6	m/s
3) Cut-in wind speed	3	m/s
4) Cut-out wind speed	None	m/s
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	180	km/h
DIMENSIONS		
6) Nacelle and rotor weight	12	kg
7) Rotor diameter	1,2	m
8) Rotor height (for VAWT only)	-	m
9) Swept area	1.13	m ²
10) Height of the mast	Variable	m
OTHER INFORMATION		
11) Maximum rpm	DK	At rated wind speed
12) Gear box type		None
13) Brake system		Blade pitch control
14) Number of blades		3
15) Blades material		Glass filled polypropylene
16) Output voltage	12 / 24, or grid-connected	V
17) Minimum operation temperature	Perhaps - 20	°C
18) Maximum operation temperature	Perhaps + 35	°C
19) Acoustic levels at a distance of 20 m? at nacelle ? (wind = 5 m/s)	Not dB tested yet	DB
20) Lifetime	10	Years
21) Is the machine self-starting		Yes
22) Use of an asynchronous generator		No
23) Yaw control system		Wind vane, free yaw
24) Upwind or downwind		Upwind

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power (W)
1	0
2	0
3	4
4	10
5	20
6	34
7	51
8	76
9	110
10	144
11	192
12	248
13	293
14	300
15	300
16	300

Power curve



Tulipower

HAWT 2,5 kW

Contact name: Hans Duivenvoorden
 Address: Van der Palmkade 44, 1051 RE Amsterdam
 Telephone: +31 – 6 19618369
 Country : Netherlands

Tulipower references

Site	Use	Country
Boxtel	Environmental Information Centre	Netherlands
Elst	Installer company, demonstration	Netherlands
Zevenbergen	Turbine distributor, demonstration	Netherlands

Tulipower / 2,5 kW



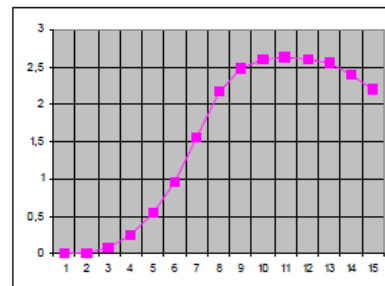
Technical information

POWER		Unit
1) Rated power	2,5	KW
2) Rated wind speed	10	m/s
3) Cut-in wind speed	3	m/s
4) Cut-out wind speed	18	m/s
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	42,5	m/s
DIMENSIONS		
6) Total weight	200	Kg
7) Rotor diameter	5	M
8) Rotor height (for VAWT only)	...	M
9) Swept area	19,6	m ²
10) Height of the mast	12,5	M
OTHER INFORMATION		
11) Maximum rpm	140	At rated wind speed
12) Gear box type	No gear box	
13) Brake system	spring powered electro magnetic brake	
14) Number of blades	3	
15) Blades material	Composite fibre glass	
16) Output voltage	230	V
17) Minimum operation temperature	- 20	°C
18) Maximum operation temperature	+ 40	°C
19) Acoustic levels at a distance of 20 m ? (wind = 5 m/s)	< 35	DB
20) Lifetime	15	Years
21) Is the machine self-starting	Yes	
22) Use of an asynchronous generator	Yes	
23) Yaw control system	Independent of wind direction	
24) Upwind or downwind	Upwind	

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power* (W)
1	0
2	0
3	68
4	243
5	530
6	958
7	1553
8	2159
9	2474
10	2595
11	2625
12	2598
13	2552
14	2382
15	2192

Power curve



Eclectic Energy

HAWT – 0,4 kW

Contact name: Peter Anderson
 Address: Edwinstowe House, High Street,
 Edwinstowe, Nottinghamshire NG21
 9PR
 Telephone: +44 (0) 162 382 15 35

D400 – 0,4 kW references

Site	Use	Country
Nottingham University	Testing / monitoring	UK
Building Research Establishment (BRE), Watford	Testing / Monitoring	UK

Stealth Gen D400 / 0,4 kW



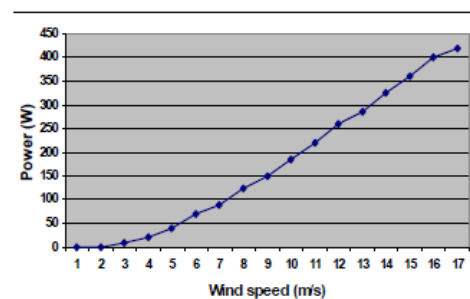
Technical information

POWER		Unit
1) Rated power	0,4	kW
2) Rated wind speed	16	m/s
3) Cut-in wind speed	2	m/s
4) Cut-out wind speed	None	m/s
5) Maximum wind speed the turbine can withstand	130	km/h
DIMENSIONS		
6) Nacelle and rotor weight	15	kg
7) Rotor diameter	1,1	m
8) Rotor height (for VAWT only)	-	m
9) Swept area	0,95	m ²
10) Height of the mast	Variable	m
OTHER INFORMATION		
11) Maximum rpm	1 200	At rated wind speed
12) Gear box type		None
13) Brake system		Electrical
14) Number of blades		5
15) Blades material		Glass reinforced nylon
16) Output voltage	12/24/48/150	V
17) Minimum operation temperature	-20	°C
18) Maximum operation temperature	120	°C
19) Acoustic levels at a distance of 20 m? at nacelle? (wind = 5 m/s)	3 above background	DB
20) Lifetime	20	Years
21) Is the machine self-starting		Yes
22) Use of an asynchronous generator		No
23) Yaw control system		Wind vane, free yaw
24) Upwind or downwind		Upwind

Calculated power curve

Wind speed (m/s)	Power (W)
1	0
2	0
3	10
4	20
5	40
6	70
7	90
8	125
9	150
10	185
11	220
12	260
13	285
14	325
15	360
16	400

Power curve:



ANEXO L. CÁLCULO DE POTENCIA PARA LOS AEROGENERADORES.

En base a la sección 4.9 se procede a realizar los cálculos de potencia para cada aerogenerador:

Paso 1: Aplicación del método de mínimo cuadrados para encontrar los factores k y c de la distribución de Weibull.

Tabla 35. Resultados del método de mínimo cuadrados aplicado a la distribución de Weibull.

Velocidad representativa v [m/s]	Frecuencia Absoluta %	Frecuencia Acumulada $F(v)$	Linealización			
			$y = \ln(-\ln(1 - F(v)))$	$x = \ln(v)$	$x \cdot y$	x^2
0	0,00000%	0,00%				
1	23,53085%	23,53%	-1,315713646	0	0	0
2	44,34754%	67,88%	0,127197476	0,693147181	0,08816657	0,48045301
3	25,16913%	93,05%	0,980606036	1,098612289	1,07730584	1,20694896
4	6,81392%	99,86%	1,884280565	1,386294361	2,61216752	1,92181206
5	0,12226%	99,98%	2,165812322	1,609437912	3,48574046	2,59029039
6	0,00815%	99,99%	2,242286216	1,791759469	4,01763756	3,210402
7	0,00815%	100,00%				
8	0,00000%	100,00%				
9	0,00000%	100,00%				

Autor: Los autores.

$k = 2,099376347$

$c = 1,846891683$

Paso 2: Determinación de los factores k y c , y la función de densidad de probabilidad para una altura de 40 metros.

$$k' = 2,39$$

$$c' = 2,86$$

Tabla 36. Cálculo de la Función de densidad de probabilidad en base a los valores c' y k' .

Nueva Velocidad [m/s]	Función de distribución acumulativa por fórmula	Función de densidad de probabilidad por fórmula
0	0,00%	0,00%
1	7,77%	17,84%
2	34,58%	33,19%
3	67,34%	29,13%
4	89,21%	14,36%
5	97,75%	4,08%
6	99,72%	0,66%
7	99,98%	0,06%
8	100,00%	0,00%
9	100,00%	0,00%

Fuente: Los autores.

Paso 3: Cálculo de potencia y energía anual.

Aerogenerador Tulipower

Número de aerogeneradores: 4

Tabla 37. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador Tulipower

MODELO		Tulipower	Distribución Viento		WEIBULL
Pot. nom (kW)		2,5	Factor Escala (c) m/s		2,86
Altura torre (m)		40	Factor Forma (k)		2,39
Área Barrido (m ²)		19,6	Viento Medio (m/s)		1,77
Cut-in speed	wind	3	Densidad Aire (kg/m ³)		1,178424653
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,000	33,19%	2907,58	0,00000	0,00
3	0,068	29,13%	2551,70	0,01981	173,52
4	0,243	14,36%	1258,26	0,03490	305,76
5	0,530	4,08%	357,26	0,02161	189,35
6	0,958	0,66%	57,86	0,00633	55,43
7	1,553	0,06%	5,24	0,00093	8,14
8	2,159	0,00%	0,26	0,00006	0,56
9	2,474	0,00%	0,01	0,00000	0,02
10	2,595				
11	2,625				
12	2,598				
13	2,552	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	2,382	0,08365	732,77	3,346%	293,11
15	2,192	Cálculo para 4 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,400			334,59650	2931,07

Fuente: Los Autores.

Aerogenerador Stealth Gen D400

Número de aerogeneradores: 20

Tabla 38. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador **Stealth Gen D400**

MODELO		Stealth Gen D400	Distribución Viento		WEIBULL
Pot. nom (kW)		0,4	Factor Escala (c) m/s		2,86
Altura torre (m)		40	Factor Forma (k)		2,39
Área Barrido (m ²)		0,95	Viento Medio (m/s)		1,77
Cut-in speed	wind	2	Densidad Aire (kg/m ³)		1,178424653
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,000	33,19%	2907,58	0,00000	0,00
3	0,010	29,13%	2551,70	0,00291	25,52
4	0,020	14,36%	1258,26	0,00287	25,17
5	0,040	4,08%	357,26	0,00163	14,29
6	0,070	0,66%	57,86	0,00046	4,05
7	0,090	0,06%	5,24	0,00005	0,47
8	0,125	0,00%	0,26	0,00000	0,03
9	0,150	0,00%	0,01	0,00000	0,00
10	0,185				
11	0,220				
12	0,260				
13	0,285	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	0,325	0,00794	69,53	1,984%	173,82
15	0,360	Cálculo para 20 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,400			158,73959	1390,56

Fuente: Los Autores.

Aerogenerador Ampair Pacific 0.1

Número de aerogeneradores: 20

Tabla 38. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador **Ampair Pacific 0,1**

MODELO		Ampair Pacific Hawk	Distribución Viento		WEIBULL
Pot. nom (kW)		0,1	Factor Escala (c) m/s		2,86
Altura torre (m)		40	Factor Forma (k)		2,39
Área Barrido (m2)		0,68	Viento Medio (m/s)		1,77
Cut-in wind speed		3,5	Densidad Aire (kg/m3)		1,178424653
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,000	33,19%	2907,58	0,00000	0,00
3	0,000	29,13%	2551,70	0,00000	0,00
4	0,005	14,36%	1258,26	0,00072	6,29
5	0,011	4,08%	357,26	0,00045	3,93
6	0,021	0,66%	57,86	0,00014	1,22
7	0,029	0,06%	5,24	0,00002	0,15
8	0,038	0,00%	0,26	0,00000	0,01
9	0,048	0,00%	0,01	0,00000	0,00
10	0,057				
11	0,065				
12	0,071				
13	0,076	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	0,081	0,00132	11,60	1,324%	115,98
15	0,085	Cálculo para 20 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,088			26,48033	463,94

Fuente: Los Autores

Aerogenerador Ampair Pacific 0.3

Número de aerogeneradores: 20

Tabla 38. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador **Ampair Pacific 0,3**

MODELO		Ampair Pacific Hawk	Distribución Viento		WEIBULL
Pot. nom (kW)		0,3	Factor Escala (c) m/s		2,86
Altura torre (m)		40	Factor Forma (k)		2,39
Área Barrido (m ²)		1,13	Viento Medio (m/s)		1,77
Cut-in speed	wind	3	Densidad Aire (kg/m ³)		1,178424653
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,000	33,19%	2907,58	0,00000	0,00
3	0,004	29,13%	2551,70	0,00117	10,21
4	0,010	14,36%	1258,26	0,00144	12,58
5	0,020	4,08%	357,26	0,00082	7,15
6	0,034	0,66%	57,86	0,00022	1,97
7	0,051	0,06%	5,24	0,00003	0,27
8	0,076	0,00%	0,26	0,00000	0,02
9	0,110	0,00%	0,01	0,00000	0,00
10	0,144				
11	0,192				
12	0,248				
13	0,293	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	0,300	0,00367	32,19	1,225%	107,30
15	0,300	Cálculo para 20 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,300			73,49221	643,79

Fuente: Los Autores

Aerogenerador Venturi 110

Número de aerogeneradores: 20

Tabla 38. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador **Venturi 110**

MODELO		Venturi 110-500	Distribución Viento		WEIBULL
Pot. nom (kW)		0,5	Factor Escala (c) m/s		2,86
Altura torre (m)		40	Factor Forma (k)		2,39
Área Barrido (m2)		1	Viento Medio (m/s)		1,77
Cut-in speed	wind	2	Densidad Aire (kg/m3)		1,178424653
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,001	33,19%	2907,58	0,00023	2,04
3	0,003	29,13%	2551,70	0,00087	7,66
4	0,007	14,36%	1258,26	0,00101	8,81
5	0,013	4,08%	357,26	0,00053	4,64
6	0,023	0,66%	57,86	0,00015	1,33
7	0,036	0,06%	5,24	0,00002	0,19
8	0,054	0,00%	0,26	0,00000	0,01
9	0,077	0,00%	0,01	0,00000	0,00
10	0,106				
11	0,141				
12	0,183				
13	0,232	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	0,290	0,00282	24,68	0,563%	49,35
15	0,357	Cálculo para 20 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,420			56,33926	493,53

Fuente: Los Autores

Aerogenerador Sviab VK 240

Número de aerogeneradores: 12

Tabla 38. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador **Sviab VK 240**

MODELO		Sviab VK 240	Distribución Viento		WEIBULL
Pot. nom (kW)		0,75	Factor Escala (c) m/s		2,86
Altura torre (m)		40	Factor Forma (k)		2,39
Área Barrido (m ²)		4,91	Viento Medio (m/s)		1,77
Cut-in speed	wind	2,5	Densidad Aire (kg/m ³)		1,178424653
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,000	33,19%	2907,58	0,00000	0,00
3	0,000	29,13%	2551,70	0,00000	0,00
4	0,050	14,36%	1258,26	0,00718	62,91
5	0,100	4,08%	357,26	0,00408	35,73
6	0,170	0,66%	57,86	0,00112	9,84
7	0,250	0,06%	5,24	0,00015	1,31
8	0,350	0,00%	0,26	0,00001	0,09
9	0,500	0,00%	0,01	0,00000	0,00
10	0,620				
11	0,750				
12	0,790				
13	0,790	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	0,790	0,01254	109,88	1,672%	146,51
15	0,790	Cálculo para 12 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,790			150,51994	1318,55

Fuente: Los Autores

Aerogenerador WB 15

Número de aerogeneradores: 16

Tabla 38. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador **WB 15**

MODELO	WB 15	Distribución Viento	WEIBULL		
Pot. nom (kW)	0,3	Factor Escala (c) m/s	2,86		
Altura torre (m)	40	Factor Forma (k)	2,39		
Área Barrido (m²)	1,8	Viento Medio (m/s)	1,77		
Cut-in wind speed	3	Densidad Aire (kg/m³)	1,178424653		
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,000	33,19%	2907,58	0,00000	0,00
3	0,010	29,13%	2551,70	0,00291	25,52
4	0,020	14,36%	1258,26	0,00287	25,17
5	0,040	4,08%	357,26	0,00163	14,29
6	0,080	0,66%	57,86	0,00053	4,63
7	0,140	0,06%	5,24	0,00008	0,73
8	0,180	0,00%	0,26	0,00001	0,05
9	0,250	0,00%	0,01	0,00000	0,00
10	0,300				
11	0,345				
12	0,370				
13	0,370	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	0,370	0,00803	70,38	2,678%	234,61
15	0,370	Cálculo para 16 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,370			128,55440	1126,14

Fuente: Los Autores

Aerogenerador Rutland 913

Número de aerogeneradores: 22

Tabla 38. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador **Rutland 913**

MODELO		Rutland 913	Distribución Viento		WEIBULL
Pot. nom (kW)		0,09	Factor Escala (c) m/s		2,86
Altura torre (m)		40	Factor Forma (k)		2,39
Área Barrido (m2)		0,655	Viento Medio (m/s)		1,77
Cut-in speed	wind	2,6	Densidad Aire (kg/m3)		1,178424653
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,000	33,19%	2907,58	0,00000	0,00
3	0,002	29,13%	2551,70	0,00058	5,10
4	0,014	14,36%	1258,26	0,00201	17,62
5	0,021	4,08%	357,26	0,00086	7,50
6	0,028	0,66%	57,86	0,00018	1,62
7	0,044	0,06%	5,24	0,00003	0,23
8	0,050	0,00%	0,26	0,00000	0,01
9	0,066	0,00%	0,01	0,00000	0,00
10	0,083				
11	0,087				
12	0,092				
13	0,121	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	0,138	0,00366	32,09	4,070%	356,51
15	0,159	Cálculo para 22 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,159			80,58023	705,88

Fuente: Los Autores

Aerogenerador Rutland 503

Número de aerogeneradores: 40

Tabla 38. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador **Rutland 503**

MODELO		Rutland 503	Distribución Viento		WEIBULL
Pot. nom (kW)		0,025	Factor Escala (c) m/s		2,86
Altura torre (m)		40	Factor Forma (k)		2,39
Área Barrido (m2)		0,196	Viento Medio (m/s)		1,77
Cut-in speed	wind	2,6	Densidad Aire (kg/m3)		1,178424653
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,000	33,19%	2907,58	0,00000	0,00
3	0,001	29,13%	2551,70	0,00029	2,55
4	0,002	14,36%	1258,26	0,00029	2,52
5	0,004	4,08%	357,26	0,00016	1,43
6	0,006	0,66%	57,86	0,00004	0,35
7	0,010	0,06%	5,24	0,00001	0,05
8	0,014	0,00%	0,26	0,00000	0,00
9	0,020	0,00%	0,01	0,00000	0,00
10	0,026				
11	0,028				
12	0,036				
13	0,039	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	0,044	0,00079	6,90	3,151%	276,02
15	0,056	Cálculo para 40 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,056			31,50957	276,02

Fuente: Los Autores

Aerogenerador SP 460

Número de aerogeneradores: 14

Tabla 38. Cálculo de potencia media y energía para el aerogenerador **SP 460**

MODELO	SP 460	Distribución Viento	WEIBULL		
Pot. nom (kW)	0,46	Factor Escala (c) m/s	2,86		
Altura torre (m)	40	Factor Forma (k)	2,39		
Área Barrido (m2)	1,96	Viento Medio (m/s)	1,77		
Cut-in speed wind	3	Densidad Aire (kg/m3)	1,178424653		
Viento (m/s)	Potencia (kW)	Probabilidad (WEIBULL)	Horas/año	Densidad Potencia (kW)	Densidad Energía (kWh/año)
1	0,000	17,84%	1562,99	0,00000	0,00
2	0,000	33,19%	2907,58	0,00000	0,00
3	0,000	29,13%	2551,70	0,00000	0,00
4	0,050	14,36%	1258,26	0,00718	62,91
5	0,075	4,08%	357,26	0,00306	26,79
6	0,120	0,66%	57,86	0,00079	6,94
7	0,150	0,06%	5,24	0,00009	0,79
8	0,200	0,00%	0,26	0,00001	0,05
9	0,250	0,00%	0,01	0,00000	0,00
10	0,300				
11	0,360				
12	0,425				
13	0,460	Pot. media (kW)	Energía (kWh/año)	F.capacidad (%) Pmed/Pnom	Horas equivalentes (h/año)
14	0,450	0,01113	97,49	2,419%	211,94
15	0,450	Cálculo para 14 aerogeneradores		Pot. media [W]	Energía (kWh/año)
16	0,450			155,80652	1364,87

Fuente: Los Autores