 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

**ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
AEROGENERADORES VERTICALES EN EDIFICACIONES DEL ÁREA
METROPOLITANA COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGÍA.**

**NELSON ALBERTO PALACIO
JUAN GUILLERMO GARCÍA CANO
ALEXANDER DÁVILA MEJÍA**

**DIRECTOR(ES) DEL TRABAJO DE GRADO
JORGE ANDRÉS SIERRA DEL RÍO**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
MEDELLÍN
10/07/2017**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Resumen

En los últimos años la demanda de energía eléctrica se ha incrementado considerablemente en la ciudad, este incremento está justificado por el aumento de la población (natalidad, desplazamiento, desempleo y violencia); Medellín es considerada la segunda ciudad más importante de Colombia después de la capital, convirtiéndola en un destino atractivo para la población que busca mejorar su calidad de vida. En los últimos 5 años el sector de la construcción ha aumentado su actividad, especialmente en la construcción de vivienda en propiedad horizontal, esto aumenta la demanda de energía eléctrica en la ciudad y la carga del sistema interconectado nacional.

Dado que la generación eléctrica en nuestro país depende principalmente de recursos hídricos, los cuales la gran mayoría ya están a su máximo nivel de generación, se tiene esperanza en la obtención de energía eléctrica partir de energía renovables como la Eólica (Generadores Eólicos De Eje Vertical) con el fin de disminuir la carga en la red eléctrica nacional y poder dar cubrimiento a parte de esta demanda; además de aportar a la conservación de los recursos naturales que cada vez son más escasos.

Un Aerogenerador vertical aprovecha la energía cinética del viento y la transforma en energía eléctrica, estos dispositivos existen de dos tipos: horizontales y verticales. Los horizontales son los más conocidos pero requieren de gran espacio para su instalación y funcionamiento, los verticales necesitan poco espacio y funcionan con velocidades de viento menores, de estos

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

existen tres clases Savonius, Giromill y Darrieus, cada uno con características diferentes, por eso se debe realizar un estudio de prefactibilidad de implementar aerogeneradores verticales, pero para esto se deben determinar los valores de las variables implicadas como temperatura, presión, radiación solar, velocidad del viento a diferentes alturas, las cuales determinaran el tipo y tamaño de aerogenerador a utilizar, para esto se evaluarán cuatro puntos fundamentales del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Niquía, Sabaneta, San Cristóbal, Buenos Aires).

El objetivo de este trabajo consiste en la obtención de los valores de las variables fundamentales (velocidad, temperatura, presión atmosférica, densidad del aire), las cuales darán las bases para la selección, dimensionamiento e implementación de turbinas eólicas verticales, en diferentes edificaciones de la ciudad, generando parte de su demanda eléctrica y reduciendo la carga en el sistema interconectado.

Palabras claves: Aerogeneradores, energías alternativas, cambio climático.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Reconocimientos

Agradecemos a DIOS por los conocimientos dados, a nuestros familiares y amigos los cuales nos apoyaron en todo momento a lo largo de este proceso formativo.

Agradecemos a los profesores y a la institución por los conocimientos adquiridos y tiempo que nos dedicaron durante la carrera para que fuéramos profesionales íntegros, con ética y moral.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Acrónimos

REN21 Red de políticas globales para el fomento de las energías renovables

TSR Relación de velocidad tangencial

CP Relación de Betz

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Contenido

1.	Introducción.....	13
2.	Marco teórico	15
2.1.	Potencial eólico	28
2.2.	Ley de Betz	30
2.3.	Propiedades del viento en el lugar de instalación.....	32
3.	Metodología	38
4.	Resultados y discusión	39
4.1.	Cálculo de potencial de generación eléctrica en las 4 estaciones.....	48
4.2.	Empresas comercializadoras de aerogeneradores verticales.....	57
4.2.1.	Aeolos Wind Turbine	57
4.2.2.	LuvSide	62
4.2.3.	Shandong Yaneng New Energy Equipment Co.,Ltd	65
4.3.	Costos de implementación	69
5.	Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro	73
	Referencias.....	74

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Lista de figuras

Figura 1. Primeros barcos de vela. Fuente: (Rojas, 2014).	16
Figura 2. Primeros molinos de la época. Fuente: (slideshare, 2012).	17
Figura 3. Aerogenerador horizontal. Fuente: (Moreno, 2014).	19
Figura 4. Aerogenerador vertical. Fuente: (Moreno, 2014).	20
Figura 5. Componentes de un aerogenerador de eje horizontal Fuente: (Massa, 2010).	20
Figura 6. Componentes de un aerogenerador vertical. Fuente: (Morimitsu, 2015).	21
Figura 7. Modelo de Aerogenerador Savonius. Fuente: (Arrabal, 2012).	23
Figura 8. Modelo de aerogenerador Giromill. Fuente: (Barragan, 2015).	23
Figura 9. Modelo de aerogenerador Darrieus. Fuente: (Barragan, 2015).	24
Figura 10. Aerogeneradores verticales instalados en hoteles. Fuente: (AEOLOS, 2017).	24
Figura 11. Aerogenerador en autopista europea. Fuente: (AEOLOS, 2017).	25
Figura 12. Aerogeneradores verticales en edificios. Fuente: (AEOLOS, 2017).	25
Figura 13. Localización Geoespacial de las estaciones de monitoreo.	33
Figura 14. Sensor instalado	34
Figura 15. Data Sheet. Fuente: (Vaisala 2012)	35
Figura 16. Estación de monitoreo San Cristóbal. Fuente: (siata, 2017).	36
Figura 17. Estación de monitoreo Niquía. Fuente: (siata, 2017).	36
Figura 18. Estación de monitoreo sabaneta. Fuente: (siata, 2017).	37
Figura 19. Estación de monitoreo Buenos Aires. Fuente: (siata, 2017).	37
Figura 20. Capacidad de turbinas disponibles. Fuente: (AEOLOS, 2017).	58
Figura 21. Características de aerogenerador de 1 kW. Fuente: (AEOLOS, 2017).	60

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Figura 22. Características de aerogenerador de 3 kW.Fuente: (AEOLOS, 2017).	62
Figura 23. Turbina eólica vertical de 1 kW.Fuente: (Luvside, 2015).	63
Figura 24. Turbina eólica vertical de 3 kW Fuente: (Luvside, 2015).....	64
Figura 25. Turbina eólica vertical de 6 kW.Fuente: (Luvside, 2015).	65
Figura 26. Características de aerogenerador de 1 kW. Fuente: (Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd).....	66
Figura 27. Características de aerogenerador de 1 kW.Fuente: (Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd)	67

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Lista de gráficas

Grafica 1. Histórico de energía eléctrica a partir de Turbinas eólicas en los últimos 10 años. Fuente: (REN21, 2016).....	18
Grafica 2. Países que han contribuido con el aumento en energía eólica en los dos ultimo años. Fuente: (REN21, 2016).....	19
Grafica 3. Curva del límite de Betz para diferentes tipos de aerogeneradores.	31
Grafica 4. Velocidad real del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Buenos Aires: Fuente: Propia.	41
Grafica 5. Velocidad real del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Niquia. Fuente: Propia.	41
Grafica 6. Velocidad real del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Sabaneta. Fuente: Propia.	42
Grafica 7. Velocidad real del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo San Cristóbal. Fuente: Propia.	42
Grafica 8. Velocidad del viento Vs horas día estación de monitoreo Buenos Aires. Fuente Propia	43
<i>Grafica 9. Velocidad del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Buenos Aires: Fuente: Propia.</i>	<i>44</i>
Grafica 10 .Velocidad del viento Vs horas día Estación de Monitoreo Niquía. Fuente: Propia.	44
Grafica 11. Velocidad del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Niquía. Fuente: Propia.	45

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Grafica 12. Velocidad del Viento Vs horas día Estación De Monitoreo Sabaneta. Fuente: Propia.	45
Grafica 13. Velocidad del viento en los últimos 6 meses Estación De Monitoreo Sabaneta. Fuente: Propia.	46
Grafica 14. Velocidad del viento Vs horas día Estación De Monitoreo San Cristóbal. Fuente: Propia.	46
Grafica 15. Velocidad del viento en los últimos 6 meses estación De Monitoreo San Cristóbal. Fuente: Propia.	47
Grafica 16. Potencial de generación hora a hora Niquia. Fuente: Propia.	49
Grafica 17. Potencial de Generación Promedio hora a hora Sabaneta. Fuente: Propia.	50
Grafica 18. Potencial de Generación Promedio hora a hora Buenos Aires. Fuente: Propia. ..	51
Grafica 19. Potencial de Generación Promedio hora a hora San Cristóbal. Fuente: Propia. ..	51
Grafica 20. Comparativa de Velocidades de los vientos promedio entre las 4 estaciones de monitoreo en los meses definidos. Fuente: Propia.	52
Grafica 21. Potencia Vs velocidad del viento para turbina de 1 kW. Fuente: (AEOLOS, 2017).	59
Grafica 22. Potencia Vs velocidad del viento para turbina de 3 kW.	61

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Lista de tablas

Tabla 1. Diferencias entre aerogeneradores verticales y horizontales. Fuente: Propia.....	22
Tabla 2. Coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo. Fuente: propia.	34
Tabla 3. Datos técnicos del sensor wxT520 Vaisala. Fuente: (vaisala, 2012).....	34
Tabla 4. Etapas de generación según la hora. Fuente propia.	39
Tabla 5. Clasificación de los vientos Beaufort. Fuente: (Moya A. F., 2007).....	39
Tabla 6. Velocidad promedio del viento. Fuente propia.	40
Tabla 7. Valores de la densidad en puntos indicados. Fuente: Propia	48
Tabla 8. Potencial de generación en Niquía. Fuente: Propia	49
Tabla 9. Potencial de generación Sabaneta. Fuente: Propia.....	50
Tabla 10. Potencial de generación en Buenos Aires. Fuente: Propia.....	50
Tabla 11. Potencial de generación en San Cristóbal. Fuente: Propia.....	51
Tabla 12. Consumo por equipos. Fuente: (EPM, 2016).....	53
Tabla 13. Tarifa del kWh de energía según estrato. Fuente: (EPM, 2016).....	54
Tabla 14. Calculo de consumo mensual de energía en viviendas de estrato 3. Fuente: Propia	54
Tabla 15. Calculo de consumo mensual de energía en viviendas de estrato 4. Fuente: Propia	55
Tabla 16. Calculo de consumo mensual de energía en viviendas de estrato 5. Fuente: Propia	55
Tabla 17. Representación en dinero de consumo. Fuente: Propia	56
Tabla 18. Velocidad del viento Vs potencia y kW-h producidos. Fuente: (AEOLOS, 2017).59	59

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Tabla 19. Velocidad del viento Vs potencia y kW-h producidos. Fuente: (AEOLOS, 2017).	61
Tabla 20, Costos de componentes de sistema de aerogeneracion. Fuente: (Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd.)	67
Tabla 21. Costos de componentes de sistema de aerogeneracion 3kW. Fuente: (Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd.).....	68
Tabla 22. Comparativa de aspectos técnicos entre fabricantes. Fuente: Propia.....	68
Tabla 23. Costo de turbina eólica vertical de 1 kW. Fuente: Propia.....	69
Tabla 24. Costo de turbina eólica vertical de 3 kW. Fuente: Propia.....	69
Tabla 25. Comparativa de tiempo de retorno de la inversión entre las marcas AEOLOS y YNVC. Fuente: Propia.....	71

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

1. Introducción

En los últimos años la demanda de energía eléctrica se ha incrementado considerablemente en la ciudad, este incremento está justificado por el aumento de la población, Medellín es considerada la segunda ciudad más importante de Colombia después de la capital, convirtiéndola en un destino atractivo para la población que busca mejorar su calidad de vida.

Todo esto ha aumentado la demanda de energía eléctrica en la ciudad y la carga del sistema interconectado nacional, por eso se propone un realizar un estudio de prefactibilidad para la implementación de aerogeneradores verticales en edificaciones del área metropolitana como fuente alternativa de energía, con la cual se cubrirá parte de este aumento, sin aumentar el impacto ambiental generado, por ser una energía amigable con el medio ambiente contrario a la generación de energía a partir de recursos fósiles.

El presente trabajo se compone de cinco capítulos, los cuales se describen a continuación: En el primer capítulo se presenta una introducción al trabajo de grado, se realiza una descripción general del proyecto para que el lector comprenda de qué se trata, se muestran el objetivo general y los objetivos específicos con los que se alcanzará el desarrollo del trabajo. En el capítulo dos se realiza un estudio relacionado con aerogeneradores de eje vertical desde su aparición hasta nuestros días, se presenta el modelamiento matemático necesario para calcular el potencial eólico disponible y se presenta un estudio comercial de las empresas encargadas de diseñar y construir estos aerogeneradores. En el tercer capítulo se presenta la metodología, se realiza una descripción de cómo se logra llevar a cabo los objetivos del proyecto y criterios de selección del

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

aerogenerador a instalar. Finalmente se calculan los costos de la instalación y puesta en funcionamiento del sistema, además de calcular el tiempo de retorno de la inversión y el ahorro económico esperado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

2. Marco teórico

La energía eólica tiene como fuente principal el viento, este es producido como consecuencia de la radiación solar, esta radiación calienta más unas zonas que otras de la atmósfera y hace que aparezcan bolsas de aire a diferente temperatura y presión.

Las bolsas de aire caliente tienden a ascender y las de aire frío a descender, este movimiento de masas de aire es lo que llamamos viento, por eso se dice que el viento es otra forma de energía solar, es importante decir que la velocidad del viento varía con la altura y depende fundamentalmente de las condiciones del terreno. (Arogonesa, 2016).

Se estima que la primera vez que se utilizó el viento como fuente de energía fue hace 5000 años en Egipto, porque existen dibujos de barcos de esa época que utilizaban velas para su navegación por el Nilo, las primeras máquinas eólicas aparecieron en el siglo VI d.C., las cuales eran utilizadas para moler granos y bombear agua llamadas Panémonas en Irán y Afganistán. (Moragues, 2003).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10



Figura 1. Primeros barcos de vela. Fuente: (Rojas, 2014).

Después del siglo XI d.C los molinos eran ampliamente utilizados en medio oriente y como consecuencia de las cruzadas fueron introducidos a Europa, pero después del siglo XIV fueron los holandeses que tomaron la ventaja por los mejoramiento en infraestructura realizados utilizándolos para drenar el río Rin, después de la revolución industrial fue decayendo su construcción, pero llegaron a existir durante el siglo XIX cerca de 3.000 molinos eran utilizados con fines industriales y cerca de 30.000 en casa y granjas, proveyendo una potencia equivalente a 200 MW. (Moragues, 2003).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

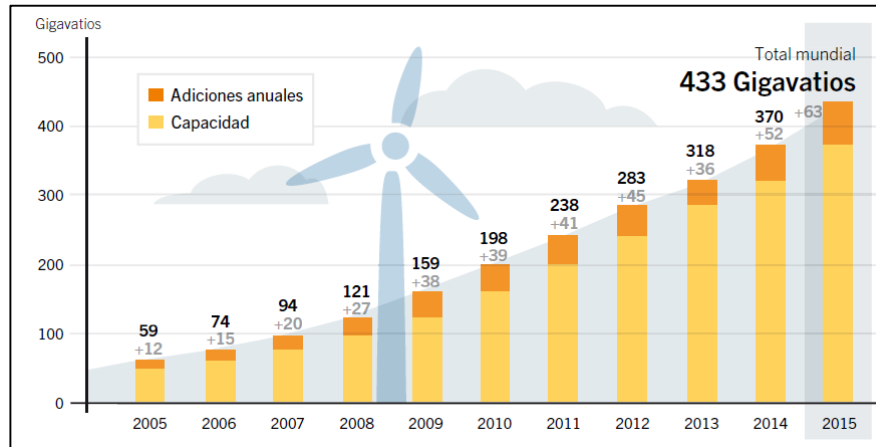


Figura 2. Primeros molinos de la época. Fuente: (slideshare, 2012).

En 1888 Brush construye la que se cree es la primera turbina eólica para generación de energía eléctrica de funcionamiento automático, pero Poul la Cour es el padre de las turbinas eólicas actuales, después en 1945 en Vermont un molino de grandes dimensiones por Smith-Putnam y posteriormente en el año 2005 existen generadores capaces de producir hasta 5MW (UCLM, 2012).

A nivel Mundial energías que llevan la delantera son la solar fotovoltaica y la eólica, las cuales representan un 77 % de las nuevas instalaciones creadas en los últimos años, mientras que la energía hidráulica representa solo un 16,6 % y el restante en otros tipos de energías. A nivel mundial las energías renovables son utilizadas así: el 88 % de la energía generada es utilizada en electrodomésticos e iluminación, el 8 % para climatización y enfriamiento y un 4 % para transporte (REN21, 2016); a continuación se muestra una gráfica donde se puede apreciar el incremento de la producción de energía durante los 10 últimos años a partir de las energías renovables a nivel mundial:

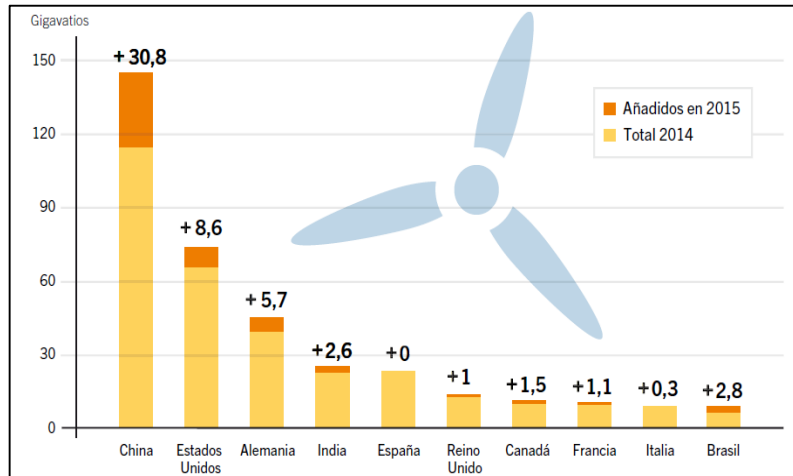
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10



*Grafica 1. Histórico de energía eléctrica a partir de Turbinas eólicas en los últimos 10 años.
Fuente: (REN21, 2016).*

El aumento de la producción de energía eléctrica a partir del viento fue del 17 % durante el periodo comprendido entre el año 2014 y 2015, siendo países pioneros como Alemania, Estados Unidos y España. Estos países han invertido grandes recursos en investigación y mejoramiento de los prototipos existentes los cuales se pueden comprar fácilmente a un precio moderado (Alvarez, 2006), se ha logrado gran desarrollo y confiabilidad debido a los avances de la tecnología, la electrónica, la información y de los nuevos materiales, lo cual ha permitido una disminución de costos y una mayor implementación en diversos países, (Pinilla, 2008). Es la energía de generación de electricidad de mayor avance a nivel mundial comparada con la solar fotovoltaica es dos veces más barata. Actualmente la energía eólica tiene un costo de instalación promedio comprendido entre 1.200 y 1.700 dólares el kilovatio (Leiva, 2007).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10



Grafica 2. Países que han contribuido con el aumento en energía eólica en los dos últimos años. Fuente: (REN21, 2016).

Existen dos tipos de aerogeneradores conocidos: los de eje horizontal (ver figura 5) y los de eje vertical (ver figura 6). Los aerogeneradores de eje horizontal son los más conocidos y por ende los más utilizados, van orientados en la dirección del viento y se reacomodan automáticamente, pero son ruidosos; los verticales no requieren ser orientados pero funcionan con más bajas revoluciones, además necesitan menos espacio para su funcionamiento e instalación (Moreno, 2014).



Figura 3. Aerogenerador horizontal. Fuente: (Moreno, 2014).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10



Figura 4. Aerogenerador vertical. Fuente: (Moreno, 2014).

Un aerogenerador de eje horizontal está compuesto por varios componentes: aspas, caja multiplicadora, eje de baja y alta velocidad, góndola, generador eléctrico, torre y freno, ver figura 5 (Moreno, 2014).

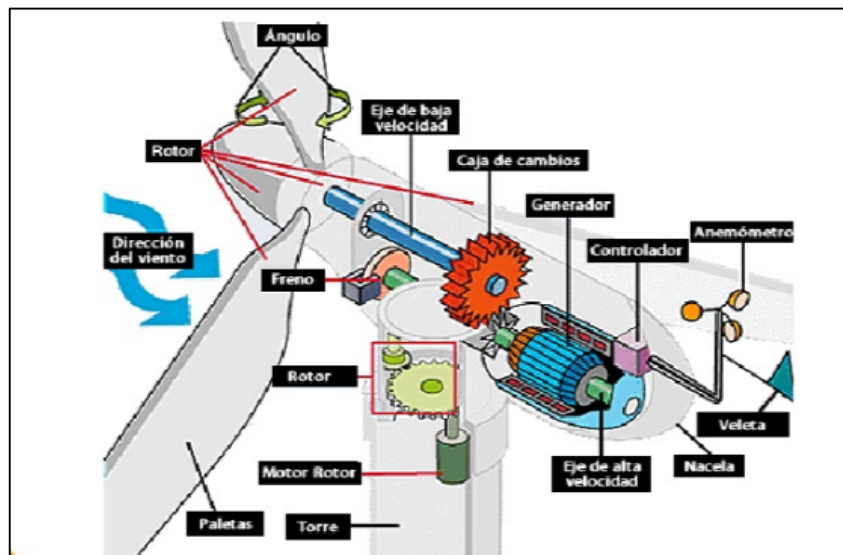


Figura 5. Componentes de un aerogenerador de eje horizontal Fuente: (Massa, 2010).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

En cambio, un generador de eje vertical posee menos componentes que los horizontales, este está compuesto por el rotor, alabes, tapas, eje de baja y alta velocidad, caja multiplicadora (ver figura 6).

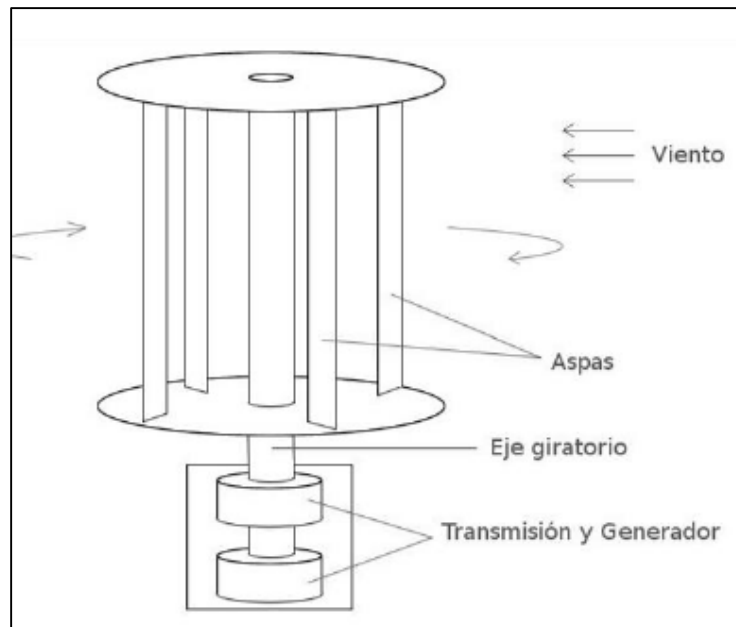


Figura 6. Componentes de un aerogenerador vertical. Fuente: (Morimitsu, 2015).

Las diferencias más importantes entre los aerogeneradores horizontales y verticales, son las que se muestra en la tabla 1.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

DIFERENCIAS	AEROGENERADOR VERTICAL	AEROGENERADOR HORIZONTAL
Eficiencia	-	+
Facilidad de instalación	+	-
Costos	-	+
Mantenimiento	-	+
Impacto visual	-	+
Sistema de orientación	No	Si
Requerimiento de Velocidad de Operación	3,5 m/s en adelante (+)	30 m/s en adelante (-)

Tabla 1. Diferencias entre aerogeneradores verticales y horizontales. Fuente: Propia

Este proyecto busca estudiar la prefactibilidad de la implementación de aerogeneradores verticales en el área metropolitana de Medellín, de los cuales existen tres tipos diferentes: los Savonius que se caracterizan por estar formados por dos semicírculos desplazados horizontalmente a una determinada distancia, a través de la cual se desplaza el aire, por lo que desarrolla poca potencia (ver figura 7).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

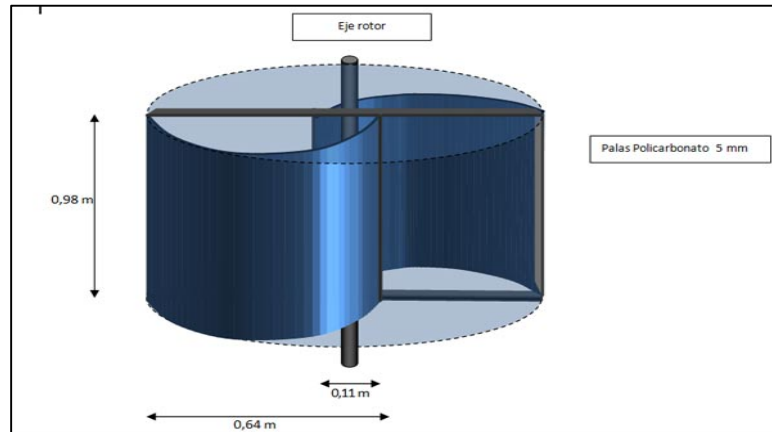


Figura 7. Modelo de Aerogenerador Savonius. Fuente: (Arrabal, 2012).

Los Giromill se destacan por tener un conjunto de palas verticales unidas con dos barras en el eje vertical rectas y ofrece un rango de suministro energético de 10 a 20kW (ver figura 8).



Figura 8. Modelo de aerogenerador Giromill. Fuente: (Barragan, 2015).

Los Darrieus formados por dos o tres aspas biconvexas unidas al eje vertical por la parte inferior y superior, permite aprovechar el viento dentro de una banda ancha de velocidades, ver figura 8 (Ramirez , 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

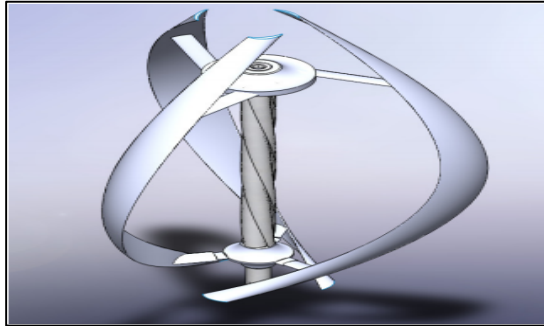


Figura 9. Modelo de aerogenerador Darrieus. Fuente: (Barragan, 2015).

En diferentes países de Europa se pueden apreciar el desarrollo logrado con este tipo de energía, los cuales han invertido grandes cantidades de dinero para su desarrollo e implementación.



Figura 10. Aerogeneradores verticales instalados en hoteles. Fuente: (AEOLOS, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

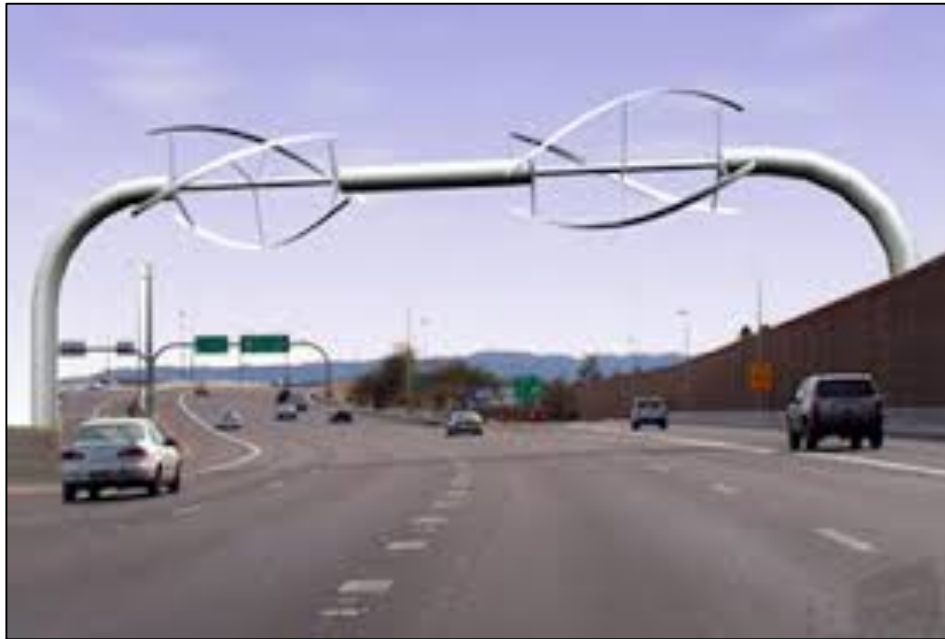


Figura 11. Aerogenerador en autopista europea. Fuente: (AEOLOS, 2017).



Figura 12. Aerogeneradores verticales en edificios. Fuente: (AEOLOS, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Colombia ha sido un país con un mínimo desarrollo en la generación de energía eólica, debido a que posee amplias fuentes hídricas las cuales son utilizadas para generar energía eléctrica.

En el año 2004 se desarrolló el parque eólico Jepirachi (vientos del nordeste) en la Guajira con una capacidad de generación de 19,5 MW. Esta energía es producida por 15 aerogeneradores horizontales.

Existe otro parque en la Guajira, el Wayúu que genera 20 MW. Si se comparan estos valores con la capacidad efectiva de generación del sistema eléctrico colombiano (SIC) de 16420 MW es realmente muy poco (Pinilla, 2008).

Un artículo de la revista *revé* habla del potencial eólico instalado (39,5 MW) y del potencial desaprovechado, que según el Mapa Eólico de Colombia, se puede apreciar 16 lugares donde las intensidades del viento son importantes para el aprovechamiento del recurso eólico. Tres de estos sitios donde los vientos son persistentes y superiores a 5m/s durante todo el año: Galerazamba en el Departamento de Bolívar, Gachaneca en Boyacá y la isla de San Andrés en el mar Caribe colombiano.

Además tres donde las velocidades son constantes pero en el rango entre los 4 y 5m/s: La Legiosa en el Huila, Isla de Providencia en el Mar Caribe y Riohacha en La Guajira. Los restantes 10 lugares no guardan una gran persistencia en la velocidad del viento excepto para determinadas épocas y/u horas del año como son: Villacarmen en Boyacá, Obonuco en Nariño, Cúcuta y Ábrego en Norte de Santander, Urrao en Antioquia, Soledad en Atlántico, Santa Marta

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

en Magdalena, Bucaramanga en Santander, Anchique en Tolima y Bogotá en Cundinamarca (reve, 2009).

Otros estudios realizados por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) en la Guajira se pueden ampliar la capacidad instalada, pudiendo generar el 20% de la demanda de energía eléctrica del país. Se espera que en el 2018 se inicien los proyectos para generar nueva energía eólica en este departamento. Otros sitios prometedores son: San Andrés y Providencia, Villa de Leiva, Cúcuta, Santander, Risaralda, Valle del Cauca, Huila, Boyacá y Antioquia, (Güesguán, 2015).

Por otra parte, investigadores de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín, han logrado desarrollar un generador de tres palas que giran con el viento, las cuales tienen un diseño geométrico no convencional basado en la semilla “triplaris”. Esta semilla gira a alta velocidad cuando cae del árbol. Se logró que las aspas funcionen a velocidades de viento de 3,5 a 4 m/s. Construyeron un prototipo de 3,6 metros de diámetro y capacidad de generar hasta 5kW. Los cuales pueden alimentar cuatro televisores, dos licuadoras, un fogón eléctrico y varios bonillos, (Nieto, 2016).

Con todo lo mencionado anteriormente se muestra que no existe un estudio de factibilidad en la implementación de aerogeneradores en el área metropolitana, para lo cual se hace indispensable realizar un estudio de las condiciones ambientales, temperatura, velocidad del viento, presión vs altura, disponibles en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, que permitirá cuantificar el potencial eólico disponible en los sectores de Niquia, Sabaneta, San Cristóbal y

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Buenos Aires, posteriormente seleccionar el aerogenerador más indicado para el sector con mayor potencial eólico.

Para calcular este potencial eólico es importante conocer ciertas variables como: presión, temperatura, velocidad y densidad del aire. Estas variables son medidas por instrumentos independientes o dispositivos los cuales tienen múltiples sensores que pueden medirlas todas a la vez, en la ciudad de Medellín existe una entidad encargada de monitorear varios parámetros ambientales SIATA (sistema de alerta temprana), la cual cuenta con más de 23 dispositivos ubicados en diferentes puntos de la ciudad, encargados de entregar información de diferentes variables ambientales en tiempo real.

2.1. Potencial eólico

Para calcular el posible potencial eólico, tendríamos que conocer algunas variables como: flujo másico, densidad, velocidad y área de trabajo que nos indicarían la energía cinética disponible en el lugar de instalación:

$$E \text{ cinetica} = \frac{1}{2} * m * V^2$$

Ecuación N° 1

Dónde:

E cinética= energía (Joule o N*m)

m= masa de aire (kg)

V= velocidad del viento (m/s)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

La potencia generada se determina mediante la correlación:

$$\text{Potencia} = \frac{1}{2} * \dot{m} * V^2$$

Ecuación N° 2

Dónde:

Potencia= Watt

m= flujo másico

Flujo másico:

$$\dot{m} = \rho * Q = \rho * V * A$$

Ecuación N° 3

Dónde:

Q= caudal (m³/s)

A= área perpendicular al flujo de viento o área barrida por el rotor [m²]

Densidad del aire:

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{P}{R * T}$$

Ecuación N° 4

Dónde:

P= presión absoluta (Pa)

T= temperatura absoluta (K)

R= constante de los gases ideales en este caso la del aire 0,2870 kJ/kg*K

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

La eficiencia:

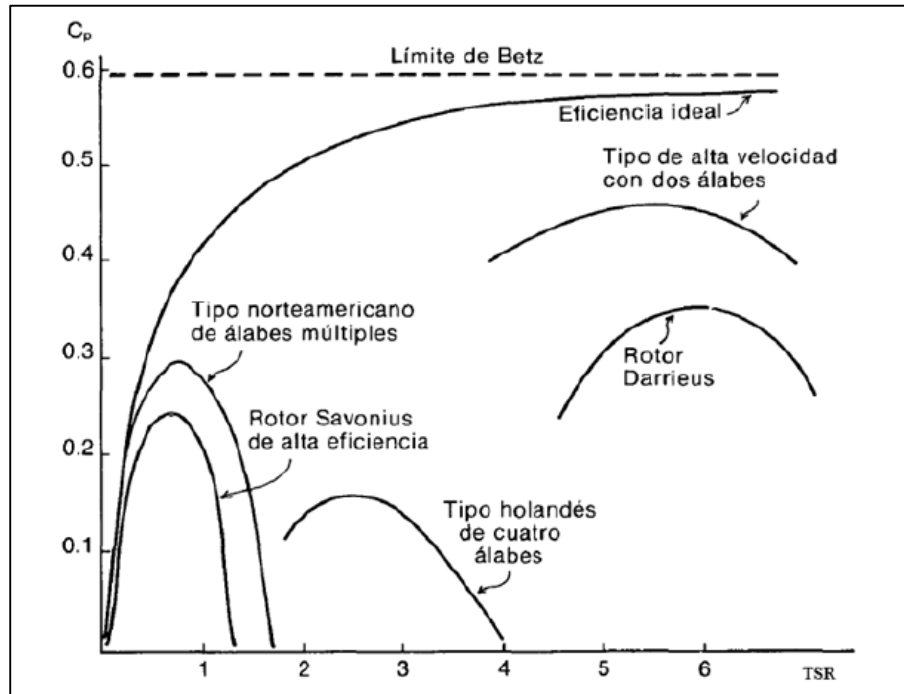
$$\eta = \frac{\text{Potencia eléctrica generada}}{\text{potencia eólica disponible} * 0,593}$$

Ecuación N° 5

2.2. Ley de Betz

La energía que posee el viento no puede ser aprovechada completamente, el límite de extracción teórico máximo fue calculado por Albert Betz (1885-1968), físico alemán que participó en la elaboración de las bases teóricas de los modernos aerogeneradores, quién publicó en 1919 una teoría, conocida como ley de Betz. Según esta ley no puede convertirse más del 16/27 (el 59,3%) de la energía cinética del viento en energía mecánica mediante una turbina eólica (Morimitsu, 2015).

Existe otro concepto relacionado a las turbinas eólicas, como es el coeficiente de potencia, el cual se determina mediante el cociente existente entre la potencia extraída y la potencia total del fluido, conocido como coeficiente de potencia (C_p), el cual depende de la aerodinámica de los alabes (ver grafica 3).



Grafica 3. Curva del límite de Betz para diferentes tipos de aerogeneradores.

Fuente: (Morimitsu, 2015).

Como se puede apreciar en la gráfica, el coeficiente de potencia nunca podrá ser mayor que la relación de Betz o ley Betz, porque siempre estará por debajo de la línea punteada:

$$C_p \leq 0,593 \text{ Relación de Betz}$$

$$P_{\text{max}} = \text{relacion de Betz} * \text{Potencia}$$

La potencia mecánica:

$$P_{\text{mecanica}} = C_p * \frac{1}{2} * \dot{m} * V^2$$

Ecuación N° 6

$$P_{\text{mecanica}} = C_p * \frac{1}{2} * \rho * A * V^3$$

Ecuación N° 7

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Para relacionar el coeficiente de potencia del generador, es necesario conocer la relación de velocidad tangencial o *TSR*, la cual sirve para comparar el funcionamiento de máquinas eólicas diferentes, por lo que también se le suele denominar velocidad específica y se define como:

$$TSR = \frac{2 * \pi * n * r}{V * 60}$$

Ecuación N° 8

Dónde:

r= radio del aerogenerador (m)

n=régimen de giro (rpm)

V=velocidad del viento (m/s)

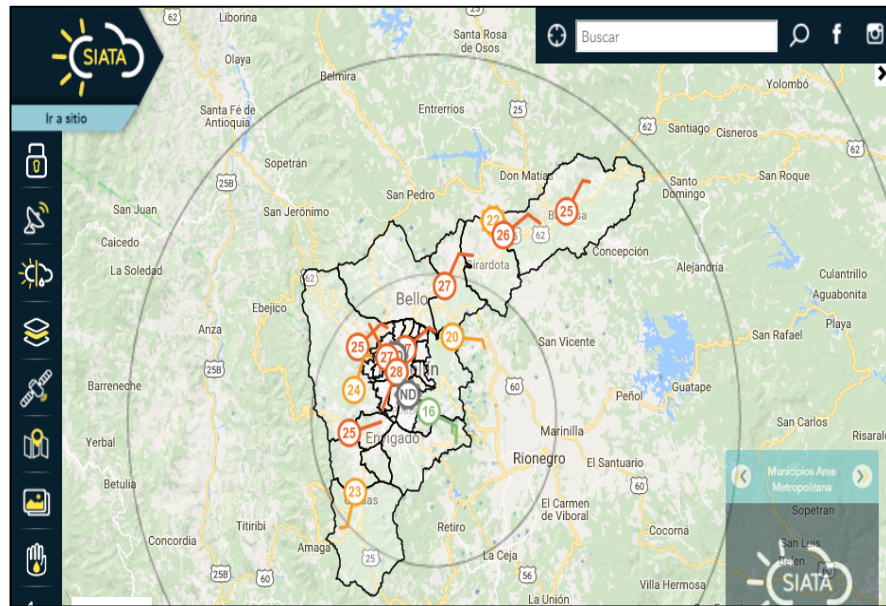
2.3. Propiedades del viento en el lugar de instalación

La ciudad de Medellín es el municipio más poblado del departamento de Antioquia, está ubicada a 1.495 m de altura sobre el nivel del mar, su temperatura promedio es de 22 °C y su densidad promedio es 1,045 kg/m³.

En Medellín el instituto encargado de monitorear las variables atmosféricas se llama SIATA (Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá), es un proyecto de Ciencia y Tecnología del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Alcaldía de Medellín, que cuenta con el apoyo y los aportes de EPM e ISAGEN.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Este instituto cuenta con 16 estaciones de monitoreo ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad, encargadas de medir en tiempo real la calidad del aire, humedad, velocidad y radiación solar, etc. A continuación, se mostrará un mapa con la ubicación geoespacial de estas estaciones de monitoreo (siata, 2017).



*Figura 13. Localización Geoespacial de las estaciones de monitoreo.
Fuente: (siata, 2017).*

Las estaciones de monitoreo utilizadas para desarrollo del proyecto fueron las siguientes, las cuales pueden ser verificadas en la página oficial del SIATA.

NºESTACIÓN	NOMBRE ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD
------------	-----------------	---------	----------

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

83	CENTRO DE SALUD SAN JAVIER LA LOMA (SAN CRISTÓBAL)	6.2720	75.6312
73	CIUDADELA EDUCATIVA LA VIDA (Niquía)	6.3453	-75.5047
206	COLEGIO CONCEJO DE ITAGÜÍ	6,1681	-75,6441
205	SANTA ELENA	6.1935	-75,5276

Tabla 2. Coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo. Fuente: propia.

En estas estaciones el tipo de sensor instalado es un multiparametrico WXT520 marca

Vaisala que posee las siguientes características:



VARIABLES DE MEDIDA	RANGOS Y VALORES
Velocidad del Viento	0.....60 m/s
Temperatura del Aire	-52...60°C (-60....140°F)
Humedad Relativa	0.....100% RH
Presión Barométrica	600....1100 hPa

Tabla 3. Datos técnicos del sensor wxT520 Vaisala. Fuente: (vaisala, 2012)

Figura 14. Sensor instalado en las estaciones de monitoreo. Fuente:(Vaisala 2012).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

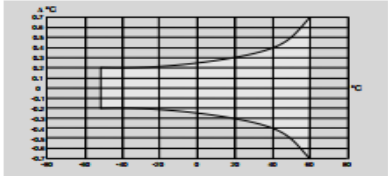
Wind <hr/> SPEED range 0 ... 60 m/s response time 250 ms accuracy $\pm 3\%$ at 10m/s output resolutions and units 0.1 m/s, 0.1km/h, 0.1 mph, 0.1 knots <hr/> DIRECTION azimuth 0 ... 360° response time 250 ms accuracy $\pm 3^\circ$ output resolution and unit 1°		Air Temperature <hr/> Range -52 ... +60 °C (-60 ... +140 °F) Accuracy for sensor at +20 °C ± 0.3 °C (± 0.5 °F) Accuracy over temperature range (see graph below)  <hr/> Output resolutions and units 0.1 °C, 0.1 °F	
Liquid Precipitation <hr/> RAINFALL cumulative accumulation after the latest automatic or manual reset output resolutions and units 0.01 mm, 0.001 inches accuracy 5%* RAINFALL DURATION counting each ten-second increment whenever water droplet is detected output resolution and unit 10 s RAIN INTENSITY one-minute running average in ten-second steps range 0 ... 200 mm/h (broader range with reduced accuracy) output resolutions and units 0.1 mm/h, 0.01 inches/h HAIL cumulative amount of hits against the collecting surface output resolutions and units 0.1 hits/cm², 0.01 hits/in², 1 hits HAIL DURATION counting each ten-second increment whenever hailstone is detected output resolution and unit 10 s HAIL INTENSITY one-minute running average in ten-second steps output resolutions and units 0.1 hits/cm²h, 1 hits/in²h, 1 hits/h <hr/> <small>* Due to the nature of the phenomenon, deviations caused by spatial variations may exist in precipitation readings, especially in a short time scale. The accuracy specification does not include possible wind induced errors.</small>		Barometric Pressure <hr/> Range 600 ... 1100 hPa Accuracy ± 0.5 hPa at 0 ... +30 °C (+32 ... +86 °F) ± 1 hPa at -52 ... +60 °C (-60 ... +140 °F) Output resolutions and units 0.1 hPa, 10 Pa, 0.0001 bar, 0.1 mmHg, 0.01 inHg	
		Relative Humidity <hr/> Range 0 ... 100 %RH Accuracy ± 3 %RH within 0 ... 90 %RH ± 5 %RH within 90 ... 100 %RH Output resolution and unit 0.1 %RH	
		General <hr/> Operating temperature -52 ... +60 °C (-60 ... +140 °F) Storage temperature -60 ... +70 °C (-76 ... +158 °F) Operating voltage 5 ... 32 VDC Typical power consumption 3 mA at 12 VDC (with defaults) Heating voltage 5 ... 32 VDC / 5 ... 30 VAC ₃₀₀₀ Serial data interface SDI-12, RS-232, RS-485, RS-422, USB connection, Weight 650 g (1.43 lb) Housing IP65 Housing with mounting kit IP66	

Figura 15. Data Sheet. Fuente: (Vaisala 2012)

Por medio de estos equipos se pudo obtener los datos de presión atmosférica, temperatura, humedad y velocidad el viento, durante el intervalo de tiempo comprendido entre noviembre 20 del 2016 hasta 5 de mayo del 2017 (siata, 2017):

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10



Figura 16. Estación de monitoreo San Cristóbal. Fuente: (siata, 2017).



Figura 17. Estación de monitoreo Niquía. Fuente: (siata, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10



Figura 18. Estación de monitoreo sabaneta. Fuente: (siata, 2017).

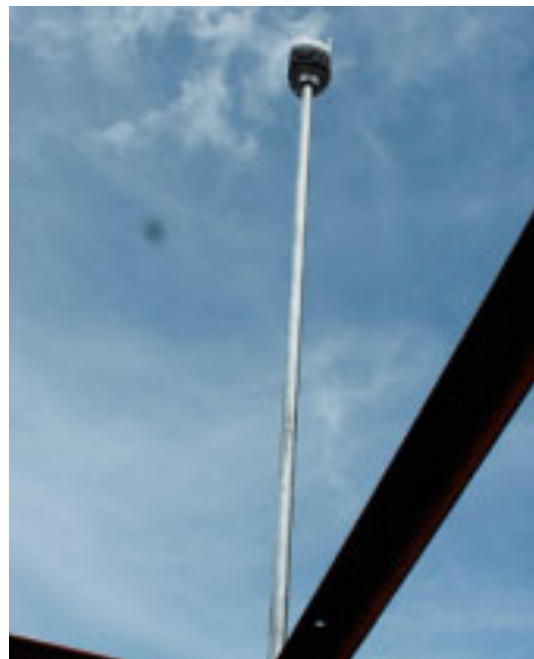


Figura 19. Estación de monitoreo Buenos Aires. Fuente: (siata, 2017).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

3. Metodología

Este trabajo fue realizado en 5 etapas:

- La primera etapa consistió en realizar una búsqueda bibliográfica relacionada con aerogeneradores verticales, tipos, diferencias, características y avances a la fecha.
- En la segunda etapa se evaluaron las condiciones climáticas, como velocidad del viento, presión, temperatura, humedad relativa, con los dispositivos instalados en cada estación de monitoreo para los 4 puntos seleccionados de la ciudad (Niquia, Sabaneta, Itagüí y San Cristóbal).
- En la tercera etapa se cuantificó el potencial eólico disponible en cada punto de medición, además se calculó el consumo de energía para viviendas de estrato 3, 4 y 5 con 4 habitantes y el precio de esta al mes.
- Para la cuarta etapa se seleccionó y dimensionó el aerogenerador a utilizar según la capacidad de generación, presión y características de la zona seleccionada luego de realizar el estudio de condiciones climáticas en cada una de las zonas.
- Finalmente se realizó un estudio de viabilidad económica del diseño propuesto con respecto a las soluciones comerciales existentes y el tiempo de retorno de la inversión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

4. Resultados y discusión

En las siguientes tablas de datos se definen 4 etapas de generación básicas, apreciándose que las etapas del día de mayor generación eléctrica son las horas donde el sol está más radiante, generando vientos de mayor velocidad, clasificadas así (ver tabla 4).

HORA	VELOCIDAD	FUERZA BEAUFORT
11 pm a 4 am	3 a 7	Brisa débil, floja
4 am a 6:30 am	7 a 10	Bonacible, brisa moderada
6:30 a 11 am	11 a 20	Frescachón, viento fuerte
11 am a 5 pm	20 a 30	Viento duro

Tabla 4. Etapas de generación según la hora. Fuente propia.

Existe una escala con la cual se puede calcular la fuerza ejercida por una corriente de aire, llamada escala de Beaufort, la cual es una medida empírica para la intensidad del viento, basada principalmente en el estado del mar, de sus olas y la fuerza del viento. Su nombre completo es escala de Beaufort de la fuerza de los vientos (ver tabla 5).

Fuerza Beaufort	Velocidad del viento (m/s)	Términos usados en las predicciones del NWS
0	0 a 0.2	Calma
1	0.3 a 1.5	Ventolina
2	1.6 a 3.3	Brisa muy débil
3	3.4 a 5.4	Brisa débil, flojo
4	5.5 a 7.9	Bonacible, brisa moderada
5	8.0 a 10.7	Brisa fresca, fresquito
6	10.8 a 13.8	Fresco, brisa fuerte, moderado
7	13.9 a 17.1	Frescachón, viento fuerte
8	17.2 a 20.7	Temporal, viento duro
9	20.8 a 24.4	Temporal fuerte, viento muy duro
10	24.5 a 28.4	Temporal duro
11	28.5 a 32.6	Temporal muy duro, borrasca
12	mayor a 32.7	Temporal huracanado

Tabla 5. Clasificación de los vientos Beaufort. Fuente: (Moya A. F., 2007).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Aplicando técnicas estadísticas sobre los datos obtenidos del SIATA los cuales se encuentran listados en los vínculos a continuación, se obtiene un promedio de la velocidad del viento según las horas del día, para así calcular el potencial eólico de diferentes puntos de la ciudad y determinar cuál de estos puntos tiene mayor potencial eólico para llevar a cabo una instalación de un equipo piloto.

[TABLA DE DATOS ESTACION DE MONITOREO NIQUIA](#)

[TABLA DE DATOS ESTACION DE MONITOREO SABANETA](#)

[TABLA DE DATOS ESTACION DE MONITOREO BUENOS AIRES](#)

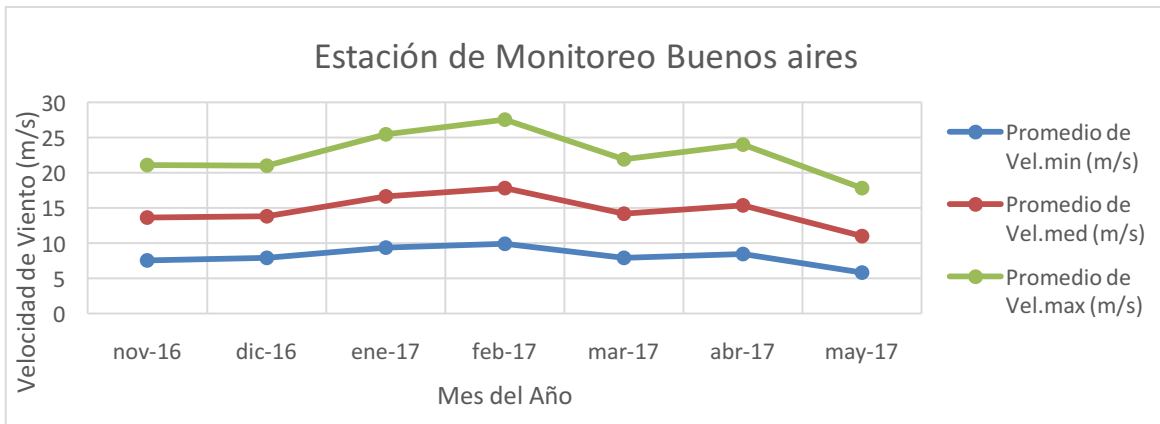
[TABLA DE DATOS ESTACION DE MONITOREO SAN CRISTOBAL](#)

HORA	VELOCIDAD PROMEDIO (m/s)	FUERZA BEAUFORT
11 pm a 4 am	5,73	Brisa débil, floja
4 am a 11 am	9,13	Bonancible, brisa moderada
11 am a 5 pm	16,74	Frescachón, viento fuerte
5 pm a 11 pm	26,58	Viento duro

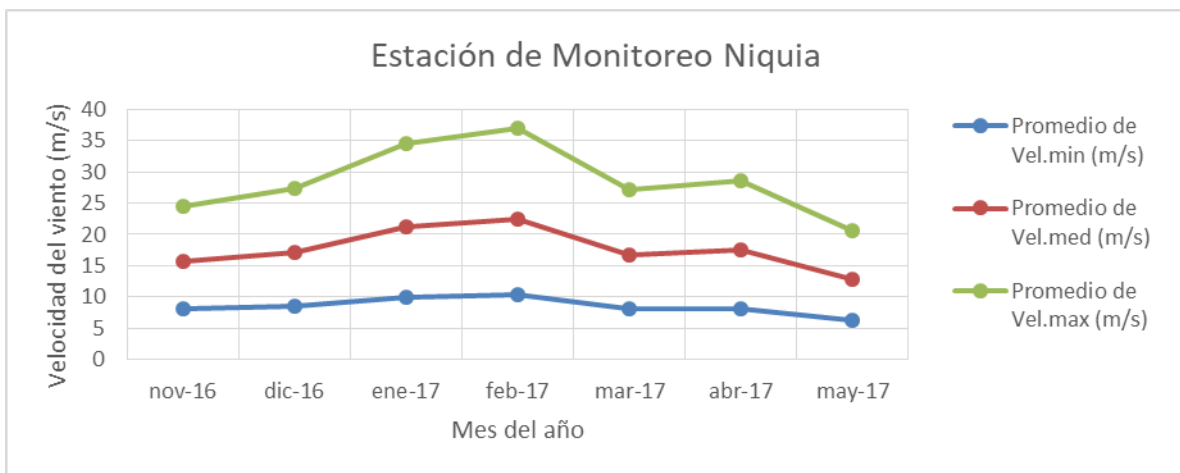
Tabla 6. Velocidad promedio del viento. Fuente propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

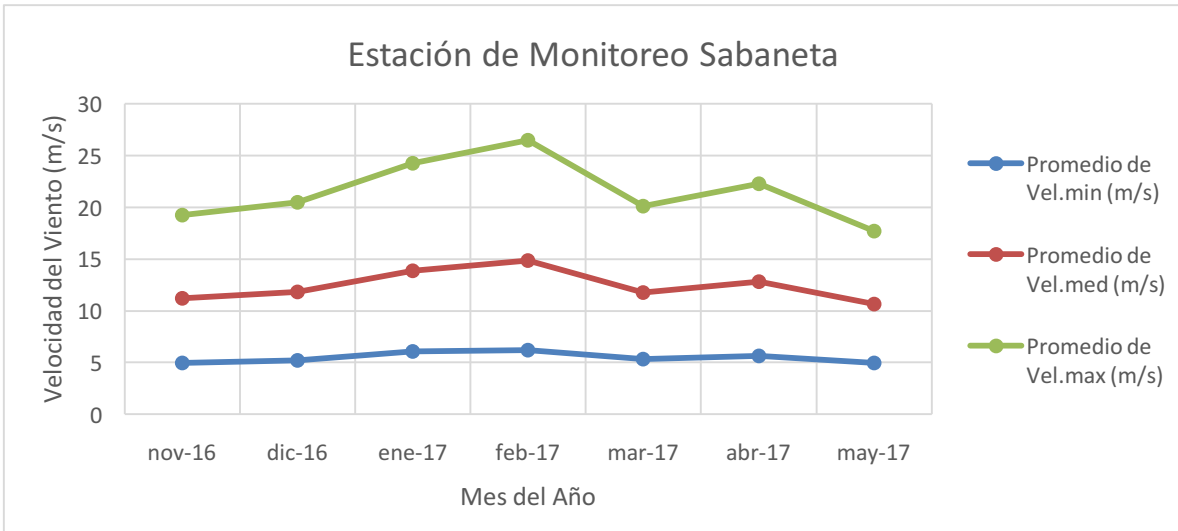
A continuación, se presentan cuatro (4) gráficas que describen el comportamiento real del viento, caracterizadas por el promedio de la velocidad del viento en cada una de las cuatro (4) estaciones de monitoreo, discriminado mes a mes para un periodo de 6 meses.



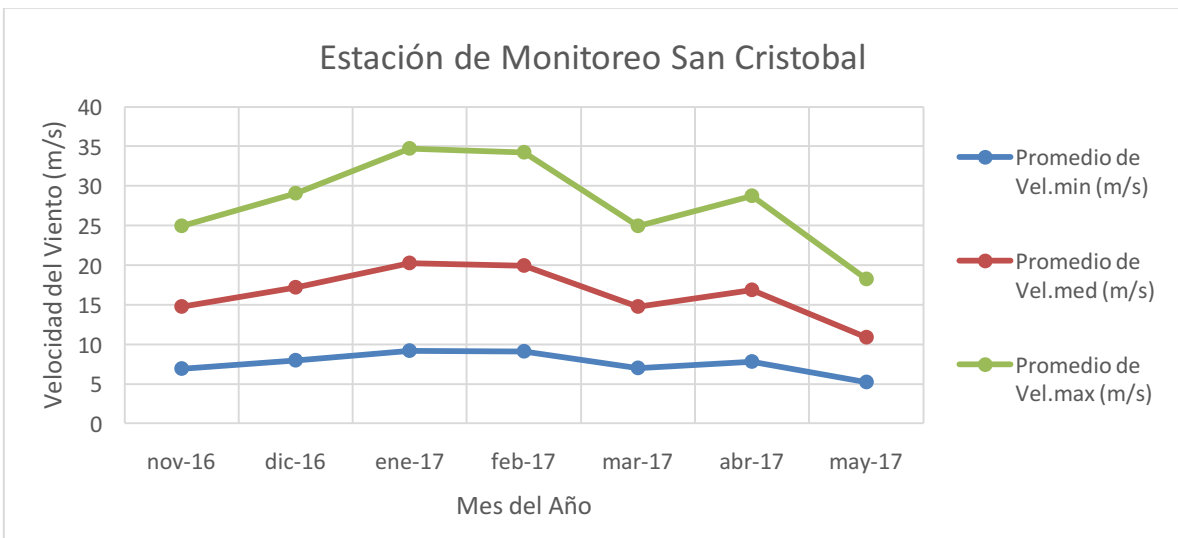
Grafica 4. Velocidad real del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Buenos Aires: Fuente: Propia.



Grafica 5. Velocidad real del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Niquia. Fuente: Propia.



Grafica 6. Velocidad real del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Sabaneta. Fuente: Propia.



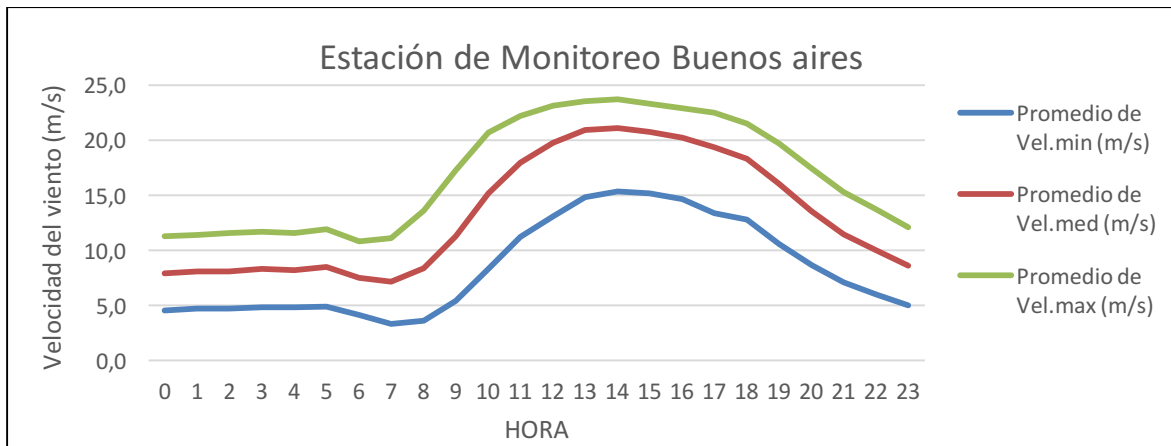
Grafica 7. Velocidad real del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo San Cristóbal. Fuente: Propia.

Con base a las anteriores gráficas puede determinarse que la estación más apropiada para la instalación de un equipo piloto es la de San Cristóbal.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

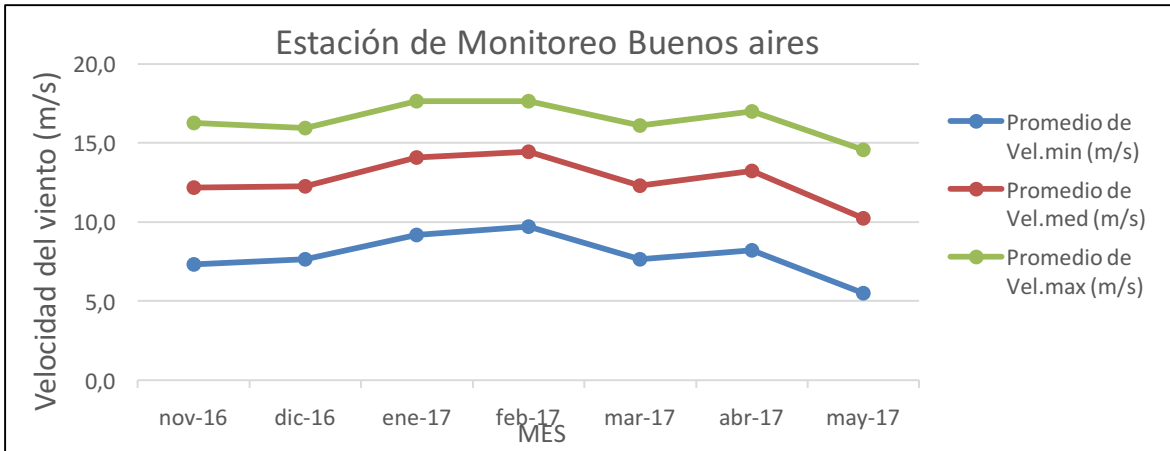
Las siguientes ocho (8) gráficas representan las velocidades promedio del viento, en cada una de las cuatro (4) estaciones de monitoreo, se discrimina la hora del día para un periodo de 6 meses y se promedia mes a mes la velocidad para el mismo periodo de tiempo.

Con base a las características de las turbinas comerciales las cuales operan entre 1,8 y 25m/s, en las gráficas de la numero 8 al la numero 15 se eliminan los valores pico que se encuentran por fuera de este rango con el fin de caracterizar el potencial real de generación, esto se realiza debido a que la turbina posee un sistema de protección y freno dinámico que es activado cuando la velocidad del viento supera los rangos de operación seguros definidos por el fabricante (ver figura 21 Características del Generador), de manera tal que cualquier valor que se encuentre por fuera de este rango no será aprovechado en el proceso de generación.

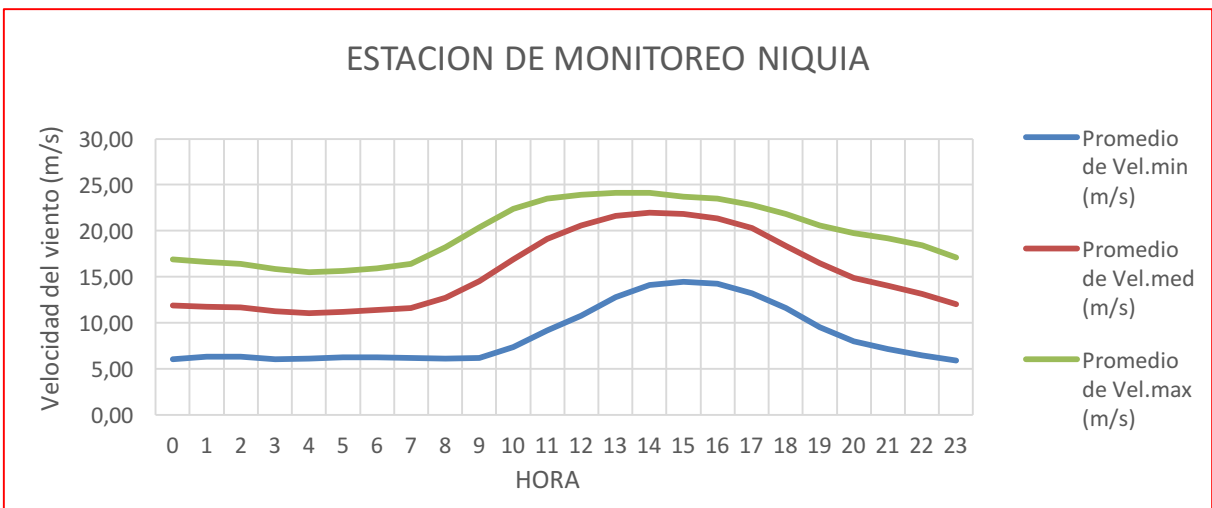


Grafica 8. Velocidad del viento Vs horas día estación de monitoreo Buenos Aires. Fuente Propia

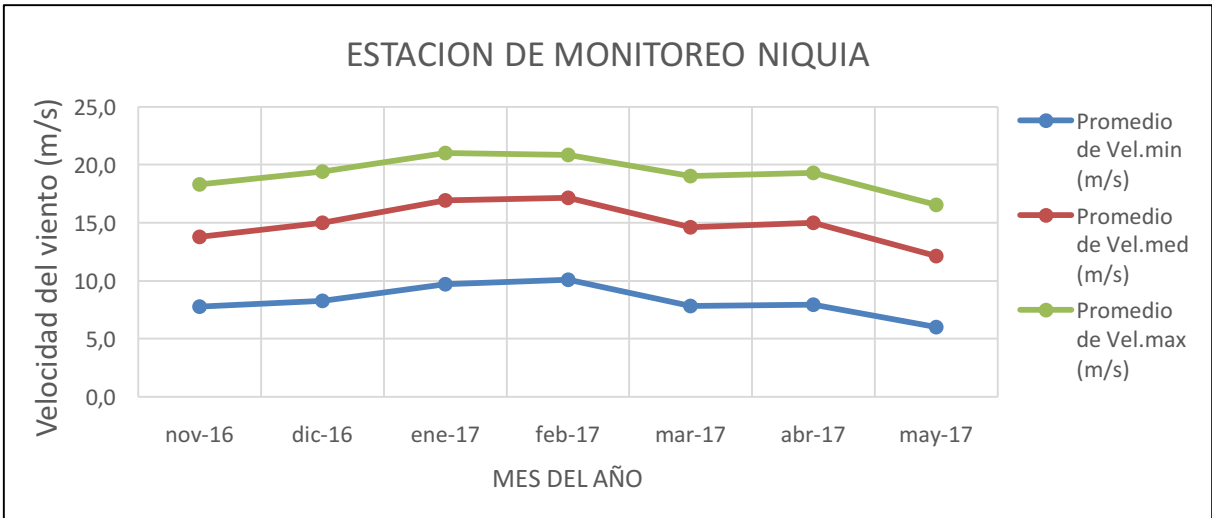
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10



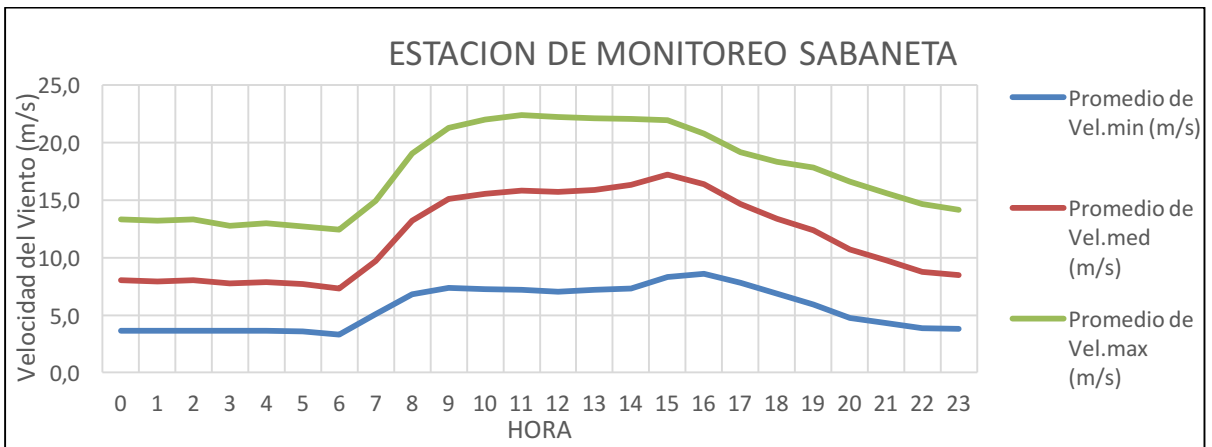
Grafica 9. Velocidad del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Buenos Aires: Fuente: Propia.



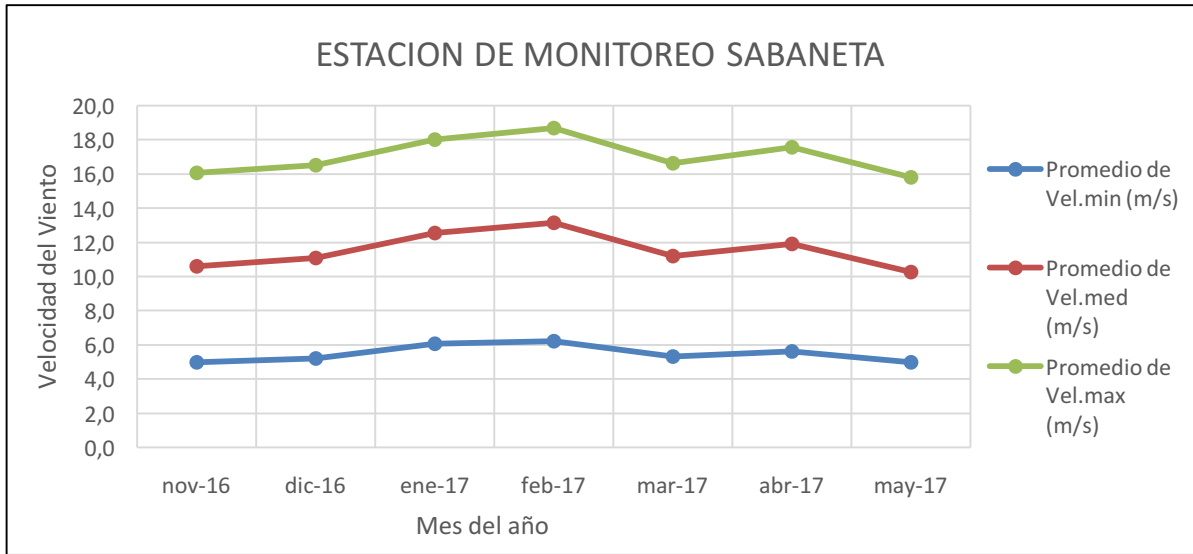
Grafica 10 . Velocidad del viento Vs horas día Estación de Monitoreo Niquia. Fuente: Propia.



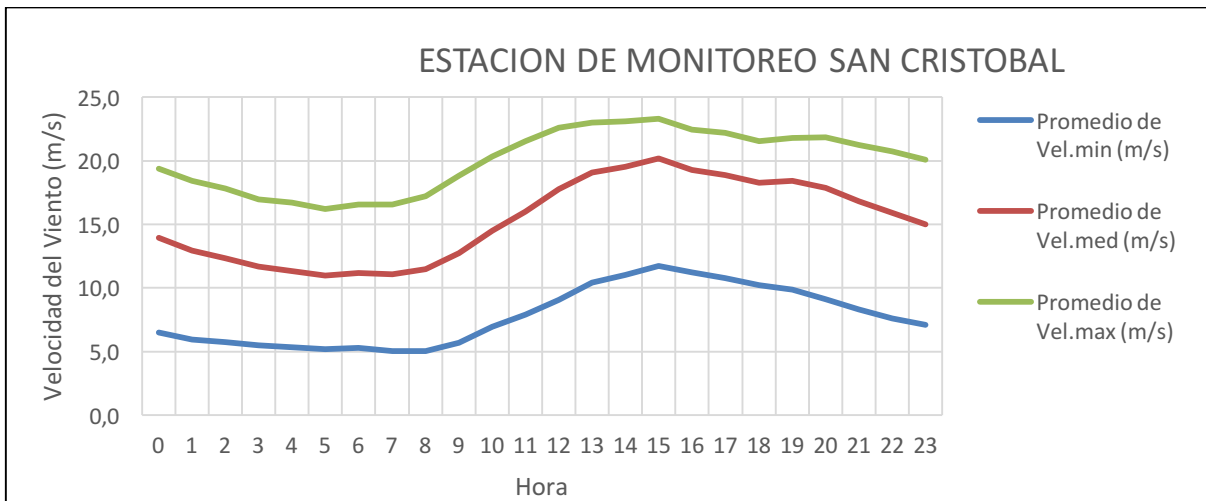
Grafica 11. Velocidad del viento en los últimos 6 meses Estación de Monitoreo Niquia. Fuente: Propia.



Grafica 12. Velocidad del Viento Vs horas día Estación De Monitoreo Sabaneta. Fuente: Propia.

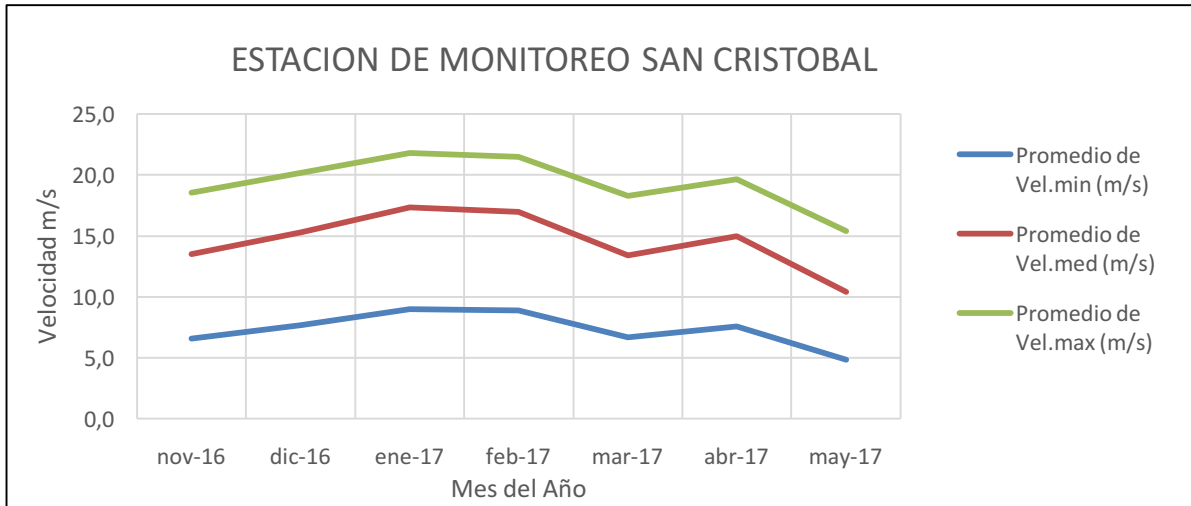


Grafica 13. Velocidad del viento en los últimos 6 meses Estación De Monitoreo Sabaneta. Fuente: Propia.



Grafica 14. Velocidad del viento Vs horas día Estación De Monitoreo San Cristóbal. Fuente: Propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10



Grafica 15. Velocidad del viento en los últimos 6 meses estación De Monitoreo San Cristóbal. Fuente: Propia.

De acuerdo a las anteriores gráficas ajustadas al rango seguro de operación de las turbinas, se concluye que el mayor potencial de generación ajustado a las condiciones de operación (1.8-25 m/s) se encuentra nuevamente en la estación de San Cristóbal.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

4.1. Cálculo de potencial de generación eléctrica en las 4 estaciones.

El potencial eólico disponible para cada estación de monitoreo se determina mediante las ecuaciones 1 a la 8.

- Primero se debe calcular la densidad del aire con las condiciones del lugar

$$\rho_{\text{aire}} = \frac{P}{R * T}$$

ESTACIÓN DE MONITOREO	PRESIÓN (kPa)	TEMPERATURA (K)	k CONSTANTE DEL AIRE (KJ/kg*K)	DENSIDAD DEL AIRE kg/m ³
NIQUÍA	85.37	294.09	0.287	1.0115
SABANETA	81.45	291.82	0.287	0.9725
BUENOS AIRES	86.43	294.15	0.287	1.0238
SAN CRISTÓBAL	85.17	294.15	0.287	1.0089

Tabla 7. Valores de la densidad en puntos indicados. Fuente: Propia

La potencia que se puede generar dependiendo del área del generador será:

$$P_{\text{mecanica}} = C_p * \frac{1}{2} * \rho * A * V^3$$

- El área en un aerogenerador de eje vertical es definida por el área de barrido el cual es:

$$A = D * H$$

Donde

D: diámetro total del rotor

H: longitud del alabe

El aerogenerador que será empleado tiene un diámetro de 1.5m y una longitud de alabe de 1.230m

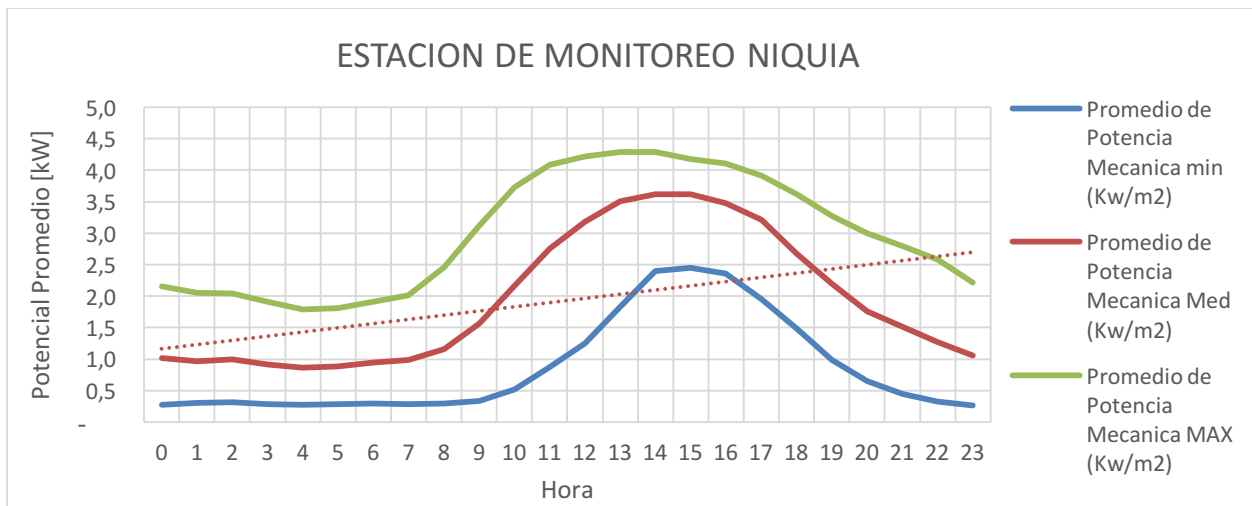
	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

$$A = 1,5 \text{ m} * 1,230 \text{ m} = 1,98 \text{ m}^2$$

A continuación, se presentan las tablas de cálculos y respectivas graficas con los potenciales de generación en kW/m^2 para cada estación de monitoreo discriminadas en horas del día durante de 6 meses de análisis estipulado

LUGAR	HORAS	CP	DENSIDAD (kg/m^3)	VELOCIDAD (m/s)	ÁREA (M^2)	POTENCIA (kw)
Niquía	23 a 4	0.593	1.02	8.2	1	0.17
	4 a 11	0.593	1.02	9.4	1	0.25
	11 a 17	0.593	1	20.1	1	2.41
	17 a 23	0.593	1.01	14.8	1	0.97

Tabla 8. Potencial de generación en Niquía. Fuente: Propia

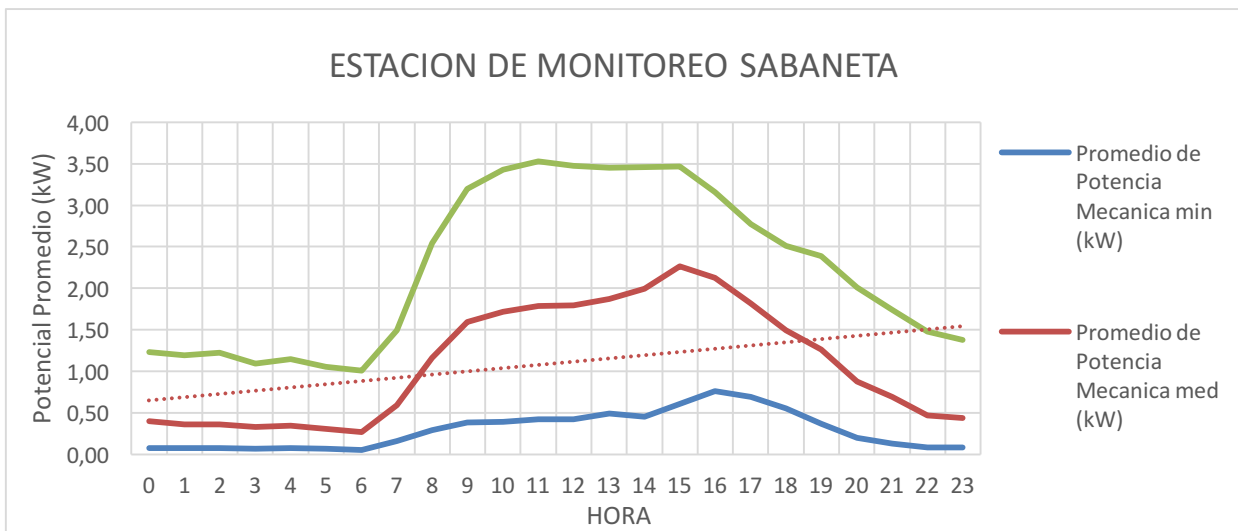


Grafica 16. Potencial de generación hora a hora Niquía. Fuente: Propia.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

ESTACIÓN DE MONITOREO	RANGO (HORAS)	CP	DENSIDAD (kg/m ³)	VELOCIDAD (m/s)	ÁREA (m ²)	POTENCIA (kw)
Sabaneta	23 a 4	0.593	0.82	6.74	1	0.31
	4 a 11	0.593	0.98	11.12	1	1.38
	11 a 17	0.593	0.96	18.39	1	6.22
	17 a 23	0.593	0.97	12.52	1	1.96

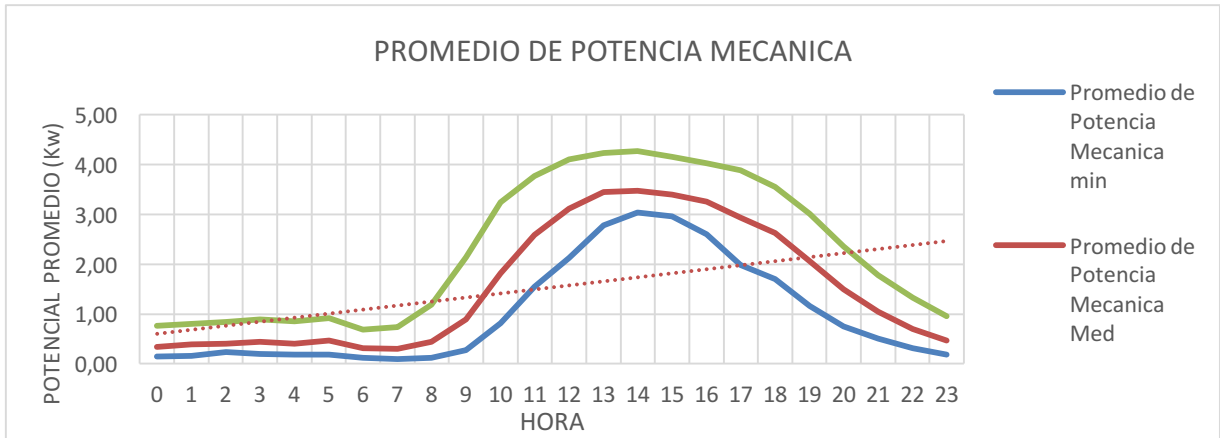
Tabla 9. Potencial de generación Sabaneta. Fuente: Propia



Grafica 17. Potencial de Generación Promedio hora a hora Sabaneta. Fuente: Propia.

ESTACION DE MONITOREO	HORAS	CP	DENSIDAD (kg/m ³)	VELOCIDAD (m/s)	ÁREA (m ²)	POTENCIA (kw)
Buenos Aires	23 a 4	0.593	1.02	8.35	1	0.2
	4 a 11	0.593	1.03	9.78	1	0.3
	11 a 17	0.593	1.02	26.55	1	5.7
	17 a 23	0.593	1.02	16.8	1	1.4

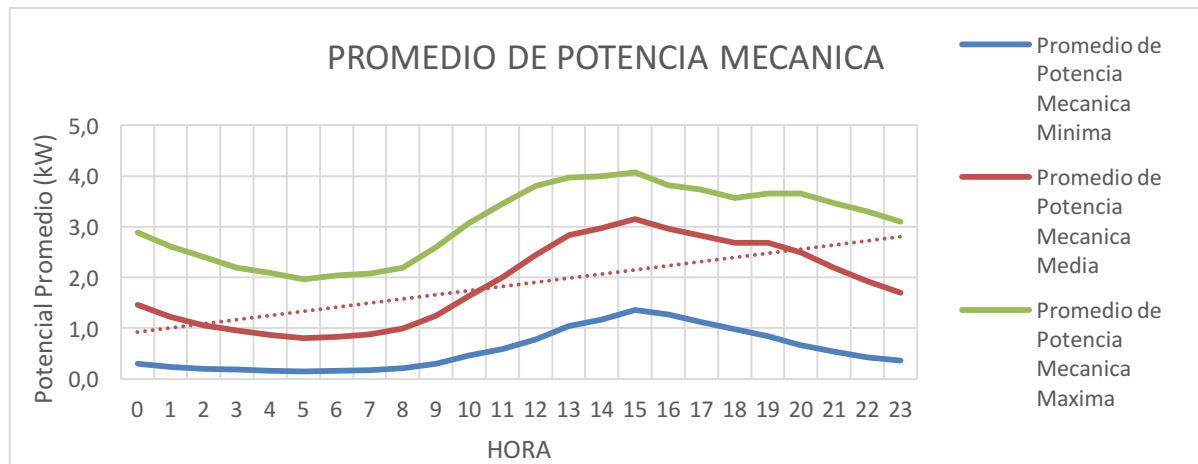
Tabla 10. Potencial de generación en Buenos Aires. Fuente: Propia



Grafica 18. Potencial de Generación Promedio hora a hora Buenos Aires. Fuente: Propia.

LUGAR	HORAS	CP	DENSIDAD (kg/m ³)	VELOCIDAD (m/s)	ÁREA (m ²)	POTENCIA (KW)
San Cristóbal	23 a 4	0,593	0,84	11,42	1	0,37
	4 a 11	0,593	1,01	12,44	1	0,58
	11 a 17	0,593	1,01	22,88	1	3,59
	17 a 23	0,593	1,01	20,13	1	2,44

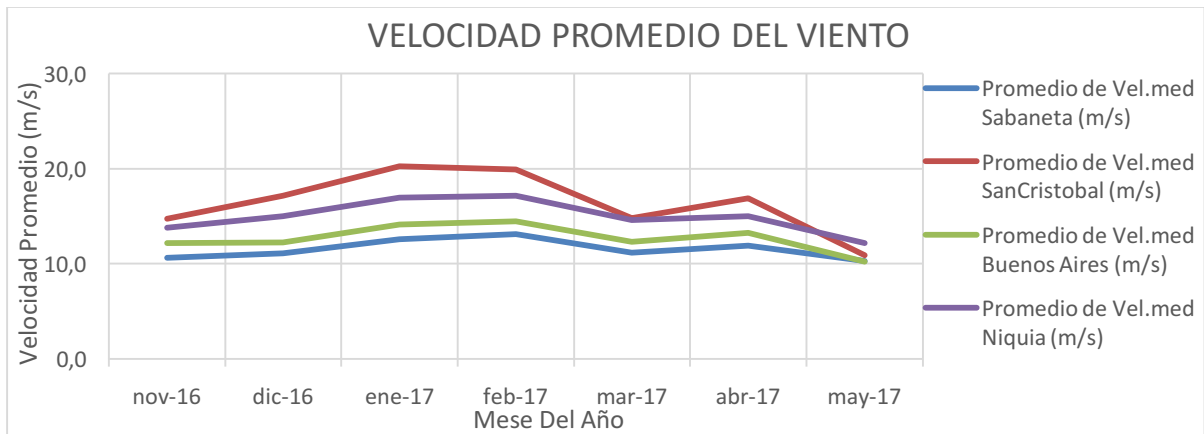
Tabla 11. Potencial de generación en San Cristóbal. Fuente: Propia



Grafica 19. Potencial de Generación Promedio hora a hora San Cristóbal. Fuente: Propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Con el fin de determinar el punto más apropiado para el objeto de estudio en la factibilidad de instalación de aerogeneradores verticales, a continuación, se presentan dos (2) gráficas comparativas donde se muestra el potencial de generación entre las 4 estaciones de monitoreo determinadas a partir de las ecuaciones 1 a la 8, discriminando hora del día para un periodo de 6 meses.



Grafica 20. Comparativa de Velocidades de los vientos promedio entre las 4 estaciones de monitoreo en los meses definidos. Fuente: Propia

Teniendo como base las gráficas 20, se observa que la estación de monitoreo de San Cristóbal es la estación que mantiene unas velocidad en los vientos más altas y más constantes convirtiéndose esta en la más adecuada para la instalación de un equipo piloto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Una vez obtenido el potencial de generación, se procede a detallar la demanda eléctrica en kW por cada vivienda discriminando el estrato.

A continuación, se calcula el consumo eléctrico promedio de una vivienda de estrato 3, 4 y 5, basados en el número de electrodomésticos, luminarias presentes, horas de uso y estrato, basados en la siguiente tabla:

ARTEFACTOS ELÉCTRICOS QUE UTILIZA NORMALMENTE	POTENCIA ELÉCTRICA		CANT. DE ARTEF.	HORAS DE CONSUMO DIARIO	DÍAS DE CONSUMO EN UN MES	CONSUMO MENSUAL EN kWh
	Watts	kW				
Fluorescente de 40 W	50 (*)	0.05	4	6	30	36.00
Foco de 25 W	25	0.025	4	4	30	12.00
Foco de 75 W	75	0.075	2	5	30	22.50
Foco de 100 W	100	0.1	3	5	30	45.00
Plancha eléctrica	1000	1	1	1	12	12.00
TV de 14"	80	0.08	1	6	30	14.40
TV de 20"	100	0.1	1	4	30	12.00
TV de 29"	175	0.175	1	4	30	21.00
DVD	20	0.02	1	4	8	0.64
Radiografía	30	0.03	1	4	30	3.60
Equipo de sonido	80	0.08	1	10	30	24.00
Refrigeradora	350	0.35	1	10	30	105.00
Cocina eléctrica	7000	7	1	2	30	420.00
Lavadora	500	0.5	1	1	16	8.00
Secadora de ropa	2500	2.5	1	1	8	20.00
Horno Microondas	1100	1.1	1	0.25	30	8.25
Licudadora	300	0.3	1	0.25	30	2.25
Batidora	200	0.2	1	0.25	30	1.50
Olla arrocera	1000	1	1	0.75	20	15.00
Waflera	700	0.7	1	0.10	30	2.10
Cafetera	800	0.8	1	0.25	30	6.00
Secadora de cabello	1200	1.2	1	0.10	30	3.60
Aspiradora	600	0.6	1	1	4	2.40
Lustradora	300	0.3	1	1	4	1.20
Terma eléctrica	1500	1.5	1	3	30	135.00
Computadora	600	0.6	2	4	30	72.00
Electrobomba de 1 HP	746	0.746	1	2	30	44.76
TOTAL CONSUMO EN kWh						1050.20

(*) Incluye 10 W de consumo del reactor de cada fluorescente

Tabla 12. Consumo por equipos. Fuente: (EPM, 2016).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Cabe recordar que el consumo eléctrico depende de la cantidad de electrodomésticos, iluminarias, horas de funcionamiento y horario del día e cada vivienda.

Tarifas y Costo de Energía Eléctrica - Mercado Regulado - abril de 2016				
Información Monomía				
Activos B.T. / Conectados a nivel II		Propiedad EPM	Compartido	Propiedad Cliente
Tarifa Residencial		Nivel I - \$/kWh		
Estrato 1.	Rango 0 - CS	185.08	178.15	171.09
	Rango > CS	462.70	445.36	427.73
Estrato 2.	Rango 0 - CS	231.35	222.68	213.87
	Rango > CS	462.70	445.36	427.73
Estrato 3.	Rango 0 - CS	393.29	378.56	363.57
	Rango > CS	462.70	445.36	427.73
Estrato 4.	Todo el consumo	462.70	445.36	427.73
Estrato 5 y 6.	Todo el consumo	555.23	534.44	513.28
Tarifa No Residencial		Nivel I - \$/kWh		
Industrial y Comercial		555.23	534.44	513.28
ESPD*		508.96	489.90	470.50
Oficial y Exentos de Contribución		462.70	445.36	427.73
Tarifa Áreas Comunes		Nivel I - \$/kWh		
Con contribución		555.23	534.44	513.28
Sin contribución		462.70	445.36	427.73
Costo unitario: $CU_v = G_{m,i} + T_m + D_{n,m} + CV_{m,i} + PR_{n,m,i} + R_{m,i}$ $CU_f = Cf_m$				
CU CREG 158-2015		462.70	445.36	427.73
CU total		506.51	489.19	471.86
Costo compra: $G_{m,i}$		208.64	208.64	208.64
Cargo transporte STN: T_m		27.17	27.17	27.17
Cargo transporte SDL: $D_{n,m}$		174.34	157.01	139.69
Margen comercialización: $CV_{m,i}$		49.82	49.82	49.82
Costo G, T, pérdidas: $PR_{n,m}$		37.88	37.88	37.88
Restricciones: R_m		8.66	8.66	8.66

B.T.: Baja Tensión (Nivel 1, < 1 kV)

Consumo Subsidiado

Alturas superiores o iguales a 1.000 mts sobre el nivel del mar

Alturas inferiores 1.000 mts sobre el nivel del mar

ESPD*: E.S.P. Domiciliarios de acueducto y alcantarillado, consumo de energía en actividades operativas inherentes a la propia prestación del servicio.

Rango subsidiado

(0-130 kWh)

(0-173 kWh)

Tabla 13. Tarifa del kWh de energía según estrato. Fuente: (EPM, 2016).

Cálculo del consumo por vivienda según el estrato 3 con 4 personas:

ELECTRODOMÉSTICO	POTENCIA CONSUMIDA (kW)	CANTIDAD	HORAS DE TRABAJO	DÍAS/MES	CONSUMO AL MES (kWh)/mes
Lavadora	0,5	1	4	8	16
Nevera	0,035	1	24	30	25,2
Tv led 40"	0,085	2	6	30	30,6
plancha	1	1	3	4	12
Bombillos de 60 w	0,06	7	4	30	50,4
Computador	0,6	1	5	30	90
Horno Microondas	1,1	1	0,5	15	8,25
Equipo de sonido	0,08	1	3	30	7,2
			TOTAL		239,65 kWh/mes

Tabla 14. Calculo de consumo mensual de energía en viviendas de estrato 3. Fuente: Propia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Cálculo del consumo por vivienda según el estrato 4 con 4 persona:

ELECTRODOMÉSTICO	POTENCIA CONSUMIDA (kW)	CANTIDAD	HORAS DE TRABAJO	DÍAS/MES	CONSUMO AL MES (kWh)/mes
Lavadora	0,5	1	4	8	16
Nevera	0,035	1	24	30	25,2
Tv led 40"	0,085	3	6	30	30,6
plancha	1	1	3	4	12
Bombillos de 60 w	0,06	10	4	30	72
Computador	0,65	2	5	30	90
Horno Microondas	1,1	1	0,5	15	8,25
Equipo de sonido	0,08	1	3	30	7,2
			TOTAL		261,5 kWh/mes

Tabla 15. Calculo de consumo mensual de energía en viviendas de estrato 4. Fuente: Propia

Calculo del consumo por vivienda según el estrato 5 con 4 personas:

ELECTRODOMÉSTICO	POTENCIA CONSUMIDA (kW)	CANTIDAD	HORAS DE TRABAJO	DÍAS/MES	CONSUMO AL MES (kWh)/mes
Lavadora	0,5	1	4	8	16
Nevera	0,35	1	24	30	25,2
Tv led 40"	0,085	3	6	30	45,9
plancha	1	1	3	4	12
Bombillos de 60 w	0,06	12	4	30	86,4
Computador	0,6	2	5	30	90
Horno Microondas	1,1	1	0,5	15	8,25
Equipo de sonido	0,08	1	3	30	7,2
			TOTAL		290,95 kWh/mes

Tabla 16. Calculo de consumo mensual de energía en viviendas de estrato 5. Fuente: Propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

A continuación, se presenta una tabla resumen del consumo y costo de energía eléctrica para una vivienda, dependiendo su estrato y cantidad de habitantes.

CONSUMO MENSUAL POR ESTRATO	ESTRATO	CANTIDAD PERSONAS	PRECIO	COSTO PESOS
239,65 kWh/mes	3	4	\$ 393,29 kWh/mes	\$ 108.743,58
261,5 kWh/mes	4	4	\$ 462,70 kWh/mes	\$ 120.996,05
290,95 kWh/mes	5	4	\$ 555,23 kWh/mes	\$ 161.544,16

Tabla 17. Representación en dinero de consumo. Fuente: Propia

Todo esto también se puede realizar por medio de un simulador, el cual está en función del número de electrodomésticos y el estrato: <http://www.grupo-epm.com/Home/Saladeprensa/Noticias/SimuladordeconsumoCENS.aspx>.

Debido a la topografía de nuestra ciudad y la manera vertiginosa como se vienen construyendo propiedades horizontales; se ve pertinente aprovechar estas corrientes de viento como energía alterna, ya que en la actualidad está siendo desaprovechada.

Y como lo evidenciamos en nuestro proyecto están dadas las condiciones técnicas de velocidad del viento con una media de 4.5 m/s. Celeridad necesaria y suficiente para que los aerogeneradores verticales funcionen en óptimas condiciones.

Los Aerogeneradores Verticales, pueden ofrecer una solución alterna al consumo y reducción del costo en servicio de Energía en los habitantes de la ciudad.

(Ver tabla 1, página 11).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

4.2. Empresas comercializadoras de aerogeneradores verticales

4.2.1. Aeolos Wind Turbine

Es un fabricante líder en turbinas eólicas pequeñas en el mundo. Aeolos aerogenerador fue fundada en Dinamarca en 1986. Después de 20 años de desarrollo, el equipo de ingenieros Aeolos podría proporcionar varias soluciones de energía eólica para diferentes clientes. Aeolos poseía siete patentes sobre generadores eólicos, sistemas de control, diseño de cuchillas e inversores. Aeolos aerogenerador ha construido una reputación internacional en la industria de turbinas eólicas pequeñas.

En la actualidad, los productos de Aeolos incluyeron aerogeneradores de eje horizontal de 500W a 60kW y aerogeneradores de eje vertical de 300W a 10kW. Fueron aplicados extensamente para el hogar, la granja, la aldea, la escuela y el parque eólico pequeño. Los aerogeneradores Aeolos trabajan en Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Italia, España, Dinamarca, Alemania, Francia, Países Bajos, Australia, Argentina, Rusia, Brasil, Sudáfrica, Mozambique y más de 60 países y regiones. Tratamos de proporcionar un sistema de energía eólica más eficiente y confiable para el mundo (AEOLOS, 2017).

4.2.1.1 Aerogeneradores Aeolos comerciales

Aeolos suministró aerogeneradores de eje horizontal y eje vertical para la venta. Las turbinas de viento de eje horizontal fueron ampliamente utilizadas en granjas, pequeñas aldeas, hogares y pequeñas empresas. Los aerogeneradores verticales se aplicaron en áreas urbanas y de bajo ruido.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Aerogeneradores de Eje Horizontal

• Aeolos-H 500w	• Aeolos-H 3000w	• Aeolos-H 20kw
• Aeolos-H 1000w	• Aeolos-H 5000w	• Aeolos-H 30kw
• Aeolos-H 2000w	• Aeolos-H 10kw	• Aeolos-H 50kw

Aerogeneradores de Eje Vertical

• Aeolos-V 300w	• Aeolos-V 3kw
• Aeolos-V 600w	• Aeolos-V 5kw
• Aeolos-V 1000w	• Aeolos-V 10kw

Figura 20. Capacidad de turbinas disponibles. Fuente: (AEOLOS, 2017).

Para las potencias posibles generadas por nuestras condiciones y en nuestros puntos de análisis, podría utilizarse 3 turbinas de 1 kW o una de 3 kW con las especificaciones, cabe recordar que todo el potencial eólico disponible no se puede aprovechar, estas poseen las siguientes características:

Características de Turbina de 1 kW

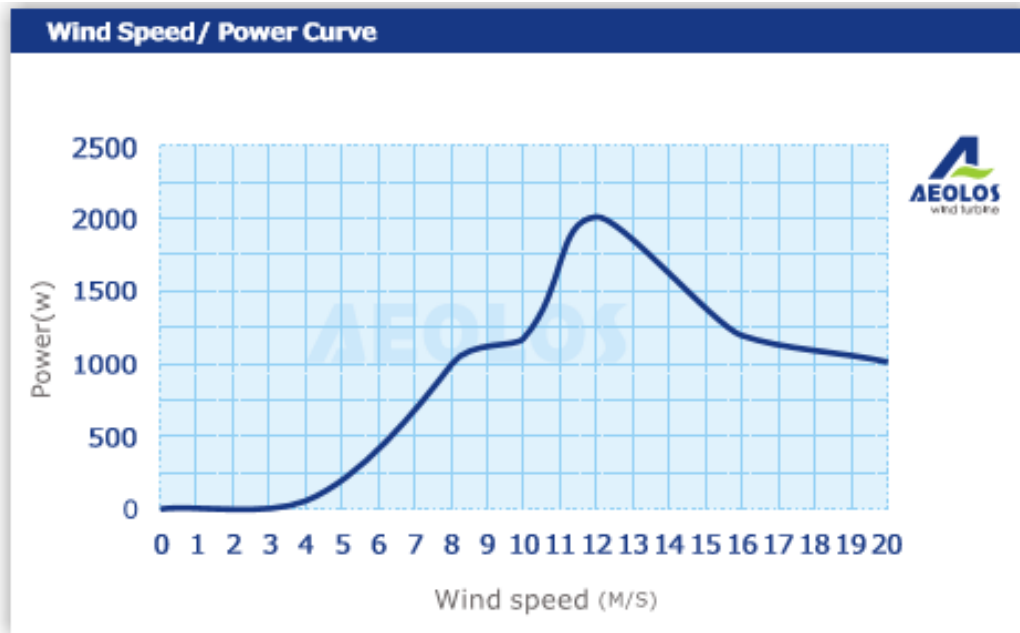
La turbina eólica de eje vertical Aeolos 1kW es una turbina de viento vertical de baja velocidad, silenciosa, segura y confiable. Utilizamos generador trifásico de rotor externo con una velocidad de arranque de 1.5m / s. Se puede utilizar para la aplicación de 48V fuera de la red o la aplicación de corbata de 110V. Aeolos aerogeneradores de eje vertical fueron ampliamente aplicados para la iluminación de calles, urbanas, escuelas, supermercados, hogar y bajo nivel de ruido.

Las láminas son hechas por la aleación de aluminio con un diseño aerodinámico especial. Este diseño limitará la velocidad giratoria máxima a 300rpm incluso la velocidad del viento es 30m / s o 40m / s. Es más seguro y confiable que el tradicional aerogenerador de eje vertical.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Aeolos-H 1kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	14	40	172	400	670	1000	1070	1200
Annual Energy Output(kwh)	123	350	1507	3504	5869	8760	9373	10512


Tabla 18. Velocidad del viento Vs potencia y kW-h producidos. Fuente: (AEOLOS, 2017).



Grafica 20. Potencia Vs velocidad del viento para turbina de 1 kW.
Fuente: (AEOLOS, 2017).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Aeolos-V 1kW vertical wind turbine



Why choose Aeolos vertical wind turbine?

Aeolos 1kW vertical axis wind turbine is a low start wind speed, quiet, safe and reliable vertical wind turbine. We use outer rotor three-phase generator with a 1.5m/s start wind speed. It can be used for the 48V off-grid application or 110V grid tie application. Aeolos vertical axis wind turbines were widely applied for street lighting, urban, schools, supermarkets, home and low noise area.

The blades were made by aluminum alloy with a special aerodynamic design. This design will limit the max rotating speed to 300rpm even the wind speed is 30m/s or 40m/s. It is more safety and reliable than traditional vertical axis wind turbine

Aeolos Wind Turbine 1kW Specification

Rated Power	1 kW
Maximum Output Power	1500 W
Output Voltage	48/110 V
Rotor Height	2.8 m (9.2 ft)
Rotor Diameter	2.0 m (6.6 ft)
Start-up Wind Speed	1.5 m/s (3.4 mph)
Rated Wind Speed	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed	50 m/s (111.5 mph)
Generator	Permanent Magnetic Generator
Generator Efficiency	>0.96
Turbine Weight	28 kg (61.6 lbs)
Noise	<45dB(A)
Temperature Range	-20°C to +50°C
Design Lifetime	20 Years
Warranty	Standard 5 Years

Aeolos-V 1kW price & brochure , please contact sales@windturbinestar.com

Figura 21. Características de aerogenerador de 1 kW. Fuente: (AEOLOS, 2017).

Características de Turbina de 3 kW

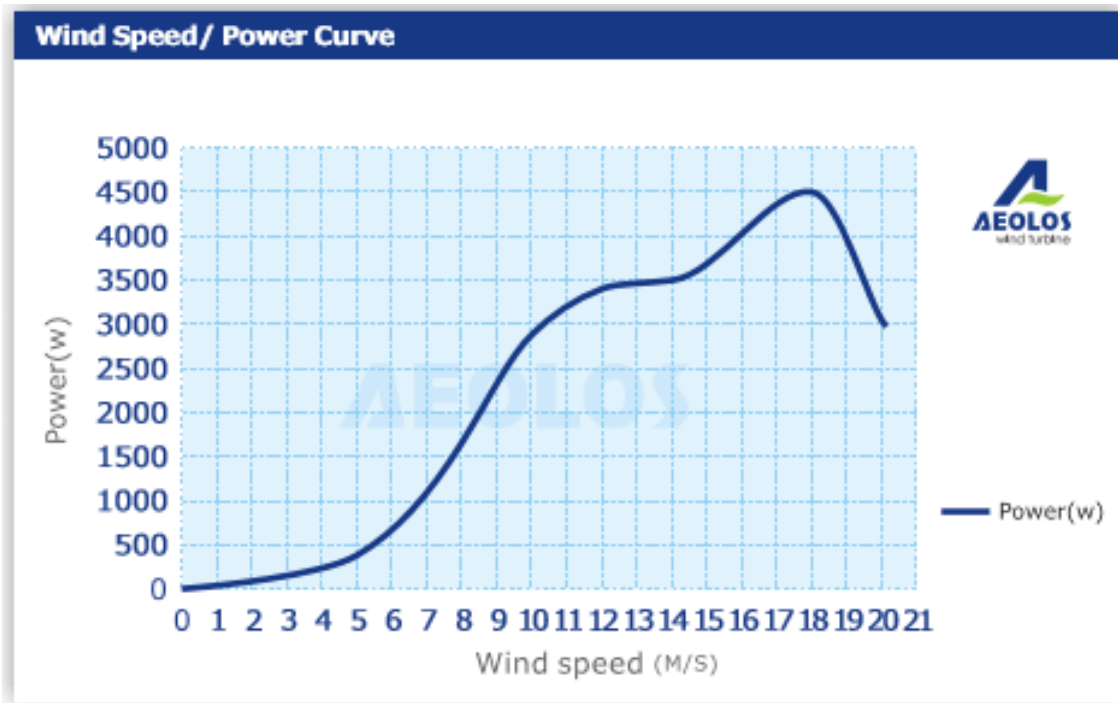
La turbina eólica de eje vertical Aeolos 3kW es una turbina de viento vertical de baja velocidad, silenciosa, segura y confiable. Utilizamos generador trifásico de rotor externo con una velocidad de arranque de 1.5m / s. Se puede utilizar para la aplicación de 120V fuera de la red o la aplicación de conexión de red 220V. Los aerogeneradores de eje vertical de 3 kW de Aeolos se aplicaron ampliamente para edificios pequeños, escuelas, supermercados, viviendas y bajo nivel de ruido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Las láminas fueron hechas por la aleación de aluminio con un diseño aerodinámico especial. Este diseño limitará la velocidad máxima de giro a 260 rpm incluso la velocidad del viento es 30m / s o 40m / s. Es más seguro y confiable que el tradicional aerogenerador de eje vertical.

Aeolos-H 3kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	110	210	400	720	1100	1650	2300	2900
Annual Energy Output(kwh)	964	1840	3504	6307	9636	14454	20148	25404

Tabla 19. Velocidad del viento Vs potencia y kW-h producidos. Fuente: (AEOLOS, 2017).



Grafica 21. Potencia Vs velocidad del viento para turbina de 3 kW. Fuente: (AEOLOS, 2017).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Aeolos-V 3kW vertical wind turbine



Why choose Aeolos vertical wind turbine?

Aeolos 3kW vertical axis wind turbine is a low start wind speed, quiet, safe and reliable vertical wind turbine. We use outer rotor three-phase generator with a 1.5m/s start wind speed. It can be used for the 120V off-grid application or 220V grid tie application. Aeolos 3kW vertical shaft wind turbines were widely applied for small building, schools, supermarkets, home and low noise area.

The blades were made by aluminum alloy with a special aerodynamic design. This design will limit the max rotating speed to 260rpm even the wind speed is 30m/s or 40m/s. It is more safety and reliable than traditional vertical axis wind turbine.

Aeolos Wind Turbine 3kW Specification

Rated Power	3 kW
Maximum Output Power	3600 W
Output Voltage	120/220 V
Rotor Height	3.6 m (11.8 ft)
Rotor Diameter	3.0 m (9.8 ft)
Start-up Wind Speed	1.5 m/s (3.4mph)
Rated Wind Speed	10 m/s (22.3 mph)
Survival Wind Speed	52.5 m/s (117.4 mph)
Generator	Permanent Magnetic Generator
Generator Efficiency	>0.96
Turbine Weight	106 kg (233.7 lbs)
Noise	<45dB(A)
Temperature Range	-20°C to +50°C
Design Lifetime	20 Years
Warranty	Standard 5 Years

Aeolos-V 3kW price & brochure , please contact sales@windturbinestar.com

Figura 22. Características de aerogenerador de 3 kW. Fuente: (AEOLOS, 2017).

4.2.2. LuvSide

LuvSide con sede en Grünwald (Múnich), fabrica y comercializa aerogeneradores verticales de pequeña potencia para generar electricidad a partir de la energía eólica. El concepto de desarrollo se basa en tres pilares: una geometría innovadora, un diseño ultra ligero y una electrónica de potencia. Actualmente se están produciendo aerogeneradores con una potencia de 1 kW, 3 kW y 6 kW. LuvSide se basa en los conocimientos y el know-how de ERKA TECHNIK para la moderna fabricación por inyección por molde y otras empresas en el área de los

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

componentes. El consorcio está financiado por la central de programas innovativos para PYME-financiación del Ministerio Federal de Economía y Energía en Berlín (Luvside, 2015).

4.2.2.1. Aerogeneradores Luvside para la venta

Características de Turbina de 1 kW

El primer producto de LuvSide con dimensiones de 200 cm de altura y 140 cm de diámetro tendrá una potencia nominal de 1 kW con una velocidad del viento de 14 m/s. Estos resultados equivalen a solo 2,8 metros cuadrados de superficie útil, lo que supone un gran avance de eficiencia energética en el campo de los aerogeneradores verticales. Con una velocidad del viento media de 5.4 m / s, por ejemplo, a una altitud media, se pueden ahorrar hasta 1.500 kW en costes energéticos.



Figura 23. Turbina eólica vertical de 1 kW. Fuente: (Luvside, 2015).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Características de Turbina de 3 kW

La unidad de 3 kW tendrá 600 cm de altura y un diámetro de 140 cm y una potencia nominal de 3 kW con una velocidad del viento de 14 m / s. Con una superficie útil de 8,4 metros cuadrados se obtendrán 4.500 kW a una altitud media. Este sistema se encuentra actualmente en fase de desarrollo y estará dirigido tanto a particulares como a empresas.



Figura 24. Turbina eólica vertical de 3 kW Fuente: (Luvside, 2015)

Características de Turbina de 6 kW

La unidad de 6 kW tendrá 1200 cm de altura y un diámetro de 140 cm y una potencia nominal de 6 kW con una velocidad del viento de 14 m / s. Con una superficie útil 16,8 metros cuadrados se obtendrán 9.000 kW a una altitud media. Este sistema se encuentra actualmente en fase de desarrollo y estará dirigido a empresas y comercios.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

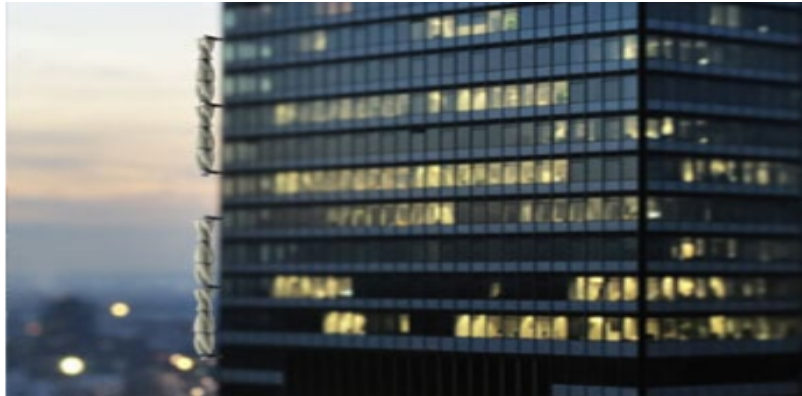


Figura 25. Turbina eólica vertical de 6 kW. Fuente: (Luvside, 2015).

4.2.3. Shandong Yaneng New Energy Equipment Co.,Ltd

Shandong Yaneng New Energy Equipment Co.,Ltd es una empresa con sede en china se especializa en el desarrollo y diseño de aerogeneradores completos de media y alta capacidad con diseños que van desde 300W hasta 20kW, esta compañía tiene certificación ISO9001 y un alto estándar de calidad en sus procesos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

4.2.3.1. *Aerogeneradores Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd para la venta*

Model number: YNVC-1KW




 <p style="text-align: center;">YNVC-1KW</p>	Parameters																																						
	<table border="1"> <tr><td>Diameters of wind wheel</td><td>1.5m</td></tr> <tr><td>Material of blades</td><td>FRP</td></tr> <tr><td>Blades number</td><td>5</td></tr> <tr><td>Blades length</td><td>1320mm</td></tr> <tr><td>RPM</td><td>150r/min</td></tr> <tr><td>Max. RPM</td><td>200r/min</td></tr> <tr><td>Rated wind speed</td><td>10m/s</td></tr> <tr><td>Start up wind speed</td><td>1.8m/s</td></tr> <tr><td>Working wind speed</td><td>3-25m/s</td></tr> <tr><td>Survival wind speed</td><td>40m/s</td></tr> <tr><td>Generator style</td><td>3 phase AC PMG synchronous</td></tr> <tr><td>Speed regulation method</td><td>Stalling</td></tr> <tr><td>Stop mehod</td><td>Electromagnetic brake</td></tr> <tr><td>Rated power</td><td>1000w</td></tr> <tr><td>The max power</td><td>1500w</td></tr> <tr><td>Rated voltage</td><td>24/48/96/120v</td></tr> <tr><td>The height of tower</td><td>8m</td></tr> <tr><td>Guy cable tower type</td><td>φ 76*6</td></tr> <tr><td>Necessary battery</td><td>12V100ah 4pcs</td></tr> </table>		Diameters of wind wheel	1.5m	Material of blades	FRP	Blades number	5	Blades length	1320mm	RPM	150r/min	Max. RPM	200r/min	Rated wind speed	10m/s	Start up wind speed	1.8m/s	Working wind speed	3-25m/s	Survival wind speed	40m/s	Generator style	3 phase AC PMG synchronous	Speed regulation method	Stalling	Stop mehod	Electromagnetic brake	Rated power	1000w	The max power	1500w	Rated voltage	24/48/96/120v	The height of tower	8m	Guy cable tower type	φ 76*6	Necessary battery
Diameters of wind wheel	1.5m																																						
Material of blades	FRP																																						
Blades number	5																																						
Blades length	1320mm																																						
RPM	150r/min																																						
Max. RPM	200r/min																																						
Rated wind speed	10m/s																																						
Start up wind speed	1.8m/s																																						
Working wind speed	3-25m/s																																						
Survival wind speed	40m/s																																						
Generator style	3 phase AC PMG synchronous																																						
Speed regulation method	Stalling																																						
Stop mehod	Electromagnetic brake																																						
Rated power	1000w																																						
The max power	1500w																																						
Rated voltage	24/48/96/120v																																						
The height of tower	8m																																						
Guy cable tower type	φ 76*6																																						
Necessary battery	12V100ah 4pcs																																						
 <p style="text-align: center;">Model 1</p>	 <p style="text-align: center;">Model 2</p>																																						

Figura 26. Características de aerogenerador de 1 kW. Fuente: (Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Vertical Axis Wind Turbine FOB Qingdao Price List

Model	Discription	Unit price
YNVC-1KW	generator	USD 900.00
	FRP blades and rotor	USD 650.00
	Model 1 :48vdc PWM off-grid controller with dumpload	USD 230.00
	LED display , RS485 Interface (Controller)	USD 50.00
	Model 2 :48vdc off-grid controller with dumpload	USD 135.00
	Model 2 :24vdc off-grid controller with dumpload	USD 165.00
	Off-grid inverter sine wave	USD 180.00
	8m free stand tower and ground base	USD 595.00
	8m guy cable tower and ground base	USD 250.00
	12V100ah battery,4pcs	USD 480.00

Tabla 20, Costos de componentes de sistema de aerogeneracion. Fuente: (Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd.)

Model number: YNVC-3KW


 <p align="center">YNVC-3KW</p>	Parameters	
	Diameters of wind wheel	3.0m
	Material of blades	FRP
	Blades number	5
	Blades length	2635mm
	RPM	150r/min
	Max. RPM	200r/min
	Rated wind speed	12m/s
	Start up wind speed	1.8m/s
	Working wind speed	3-25m/s
	Survival wind speed	40m/s
	Generator style	3 phase AC PMG synchronous
	Speed regulation method	Stalling
	Stop mehod	Electromagnetic brake
	Rated power	3000w
	The max power	4500w
	Rated voltage	220
	The height of tower	8m
Guy cable tower type	φ 203*6	
Necessary battery	12V100ah, 18pcs	

Figura 27. Características de aerogenerador de 1 kW. Fuente: (Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Vertical Axis Wind Turbine FOB Qingdao Price List

Model	Description	Unit price
YNVC-3KW	generator	USD 2,480.00
	FRP blades and rotor	USD 1,320.00
	48VDC PWM off-grid controller with dumpload	USD 470.00
	LED display , RS485 Interface for controller	USD 60.00
	off grid inverter	USD 550.00
	on grid controller with dump load	USD 650.00
	on grid inverter sine wave 230vac 50hz	USD 1300.00
	8m free stand tower and ground base	USD 1,195.00
	8m guy cable tower and ground base	USD 565.00
	12V 100ah battery, 18pcs	USD 2,160.00

Tabla 21. Costos de componentes de sistema de aerogeneracion 3kW. Fuente: (Shandong Yaneng New Energy Equipment Co., Ltd.)

En la tabla siguiente se muestra las variables técnicas y de fabricación más representativas y empleadas para la selección del tipo de Aerogenerador más apropiado para nuestro objeto de estudio.

VARIABLES	AEOLOS 1kW	AEOLOS 3kW	YNVC-1kW	YNVC-3kW
Voltaje Entregado	48/110 Voltios	110/220 Voltios	48/110 Voltios	220 Voltios
Velocidad mínima de generación	1.5 m/s	1.5 m/s	1.8 m/s	1.8 m/s
Banco de Baterías	Generador Magnético Permanente	Generador Magnético Permanente	4 Unidades de 12V-100ah	18 Unidades de 12 V-100ah
Vida Útil	20 Años	20 Años	No reporta	No reporta
Garantía	5 Años	5 Años	No reporta	No reporta
Fabricación	Europa-Alemana	Europa-Alemana	Asiática-China	Asiática-China
Costo	19.551.000 COP	40.078.000 COP	10.065.000 COP	30.660.000 COP

Tabla 22. Comparativa de aspectos técnicos entre fabricantes. Fuente: Propia

Valores Calculados con una TRM de \$3.000 (COP)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

4.3. Costos de implementación

Para el presupuesto de la obra se solicitó información a la empresa Aeolos **Wind Turbine**, la cual no envió la siguiente cotización:

AELOS VERTICAL DE 1 kW		
CARACTERÍSTICAS	PRECIO EN DÓLARES (INSTALADO)	PESOS COLOMBIANOS (INSTALADO)
TURBINA DE VIENTO DE 1 kW	USD 3,100	COP 9,300,000
CONTROLADOR DE RED (48/24)V	USD 880	COP 2,640,000
INVERSOR DE RED	USD 450	COP 1,350,000
TORRE O SOPORTE DE 3m	USD 650	COP 1,950,000
MANO DE OBRA E INSTALACIÓN	USD 500	COP 1,500,000
MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/6 MESES	USD 100	COP 300,000
CORRECTIVOS PREVISTOS EN 5 AÑOS	USD 837	COP 2,511,000
TOTAL	USD 6,517	COP 19,551,000
Valores Calculados bajo una TRM de \$3.000		

Tabla 23. Costo de turbina eólica vertical de 1 kW. Fuente: Propia

AELOS VERTICAL DE 3 kW		
CARACTERÍSTICAS	PRECIO EN DÓLARES (INSTALADO)	PESOS COLOMBIANOS (INSTALADO)
TURBINA DE VIENTO DE 3 kW	USD 5,820	COP 17,460,000
CONTROLADOR DE RED (48/24)V	USD 2,380	COP 7,140,000
INVERSOR DE RED	USD 860	COP 2,580,000
TORRE O SOPORTE DE 3m	USD 1,470	COP 4,410,000
MANO DE OBRA E INSTALACION	USD 1,000	COP 3,000,000
MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/6MESES	USD 100	COP 300,000
CORRECTIVOS PREVISTOS EN 5 AÑOS	USD 1,730	COP 5,188,500
TOTAL	USD 13,360	COP 40,078,500
Valores Calculados bajo una TRM de \$3.000		

Tabla 24. Costo de turbina eólica vertical de 3 kW. Fuente: Propia

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Para Calcular el tiempo del retorno de la inversión se elabora un ejemplo con una turbina de 1kW de la empresa Aeolos Wind Turbine. Esta potencia de generación se puede garantizar verificando que la velocidad del viento en la estación san Cristóbal se encuentra entre 10m/s y 20 m/s tal como se muestra en la gráfica 21 , garantizando la velocidad mínima de operación de la turbina comercial (ver grafica 22) para la generación de 1 kW.

La energía generada por una turbina de 1Kw en el transcurso de un mes será:

$$1 \text{ kW} * \frac{24 \text{ h}}{\text{dia}} * \frac{30 \text{ dias}}{\text{mes}} = 720 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

El consumo mensual en una vivienda de estrato 3 es de 239 kW-h/mes, entonces el número de viviendas que puede surtir será:

$$\text{Numero de viviendas} = \frac{720 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}}{239 \frac{\text{Kwh}}{\text{mes}}} = 3,01 \text{ viviendas}$$

Costo mensual de energía para estas tres viviendas será:

$$\text{\$ } 108.743,58 * 3 = \text{\$ } 326.230,74$$

Costo de la inversión \$19.551.000 por una turbina de 1 kW

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

El retorno de la inversión será:

$$\frac{\$19.551.000}{\$326.230,74} = 59.92 \text{ meses} \cong 5 \text{ años}$$

Basado en la anterior operación se genera una comparación de costos de los sistemas de ambas marcas y su tiempo aproximado de retorno de la inversión

MARCA	COSTO DE SISTEMA AEROGENERADOR		TIEMPO DE RETORNO EN MESES 1KW (ESTRATO)			TIEMPO DE RETORNO EN MESES 3KW (ESTRATO)		
	1kW	3 kW	3	4	5	3	4	5
Aeolos	\$ 19,551,000	\$ 40,078,000	59.9	5 3.9	4 0.3	122.9	110.4	82.7
Shandong Yaneng	\$ 14,365,000	\$ 38,878,000	44.0	39.6	29.6	119.2	107.1	80.2

Tabla 25. Comparativa de tiempo de retorno de la inversión entre las marcas AEOLOS y YNVC.
Fuente: Propia

Debido a que se evidencia que el costo de los aerogeneradores YNVC, están por debajo de los aerogeneradores AEOLOS disminuyendo considerablemente los tiempos de retorno de la inversión, Hay otro tipo de criterios que se han tenido en cuenta para la selección del proveedor; criterios técnicos que suelen ser relevantes a la hora de elegir una marca para la implementación final.

El voltaje de salida es un factor importante, debido a que el cliente objetivo se encuentra ubicado principalmente en sector residencial, y en nuestra ciudad los hogares se encuentran conectados a sistemas monofásicos bifilares 110V/220V, con una frecuencia de 60Hz, por lo tanto ambas marcas cumplen con este requisito

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Los aerogeneradores YNVC, se ajustan completamente a la configuración de nuestro sistema eléctrico domiciliario a un costo mucho más bajo que su competidor AEOLOS.

Otra de las características que generan una ventaja de la marca YNVC, es su sistema de generación y acumulación el cual permite aprovechar las horas de mayor velocidad de los vientos para cargar las baterías de reserva, las cuales garantizan disponibilidad de 1kW de energía durante el tiempo de bajas velocidades de los vientos.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

5. Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro

- Se pudo cuantificar el potencial eólico disponible en la ciudad de Medellín, aprovechando la información suministrada por el SIATA (sistema de alerta temprana), entidad pública encargada de monitorear las condiciones ambientales en la ciudad.
- Desde el punto de vista económico estos proyectos de generación eólica son altamente rentables, basados en las condiciones ambientales que posee nuestro país y con un retorno de la inversión de entre 3 a 6 años.
- Con el siguiente trabajo se fundamentó la base teórica para posibles trabajos de implementación y aprovechamiento de energía eólica disponible en la ciudad de Medellín, con los cuales se disminuirá el impacto ambiental generado por las fuentes tradicionales de generación eléctrica.
- También nace la pregunta porque el Gobierno Colombiano no invierte o explota este tipo de energía alternativa, puede ser la falta de conocimiento o el poco interés que muestran nuestros dirigentes por mejorar la matriz energética actual y su mediocridad prefiriendo invertir más dinero en fuentes de generación hidráulica.
- Promover la educación de ingenieros en todo lo relacionado con fuentes de energía alternativas como son la solar, eólica, mareomotriz y geotérmica, que impulsaran el desarrollo del país.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Referencias

Aeolos. (2012). *Aeolos Wind turbine*. Recuperado el 07 de julio de 2017, de

<http://www.windturbinestar.com>

Alvarez. (2006). Obtenido de http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_eolica_A2006.pdf

Alvarez, C. (s.f.). Obtenido de http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Energia_eolica_A2006.pdf

Alvarez, c. (2006).

Alvarez, C. (2006).

Arogonesa, P. E. (21 de 10 de 2016). *Plataforma educativa arogonesa*. Obtenido de <http://e->

educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1088/html/21_componentes_de_un_aerogenerador.html

Arrabal, R. C. (2012). Obtenido de [http://elnegrillo.blogspot.com.co/2012/04/aerogenerador-](http://elnegrillo.blogspot.com.co/2012/04/aerogenerador-savonius-casero.html)

[savonius-casero.html](http://elnegrillo.blogspot.com.co/2012/04/aerogenerador-savonius-casero.html)

Barragán, M. (20 de 03 de 2015). Obtenido de

<http://energiaeolica1101.blogspot.com.co/2015/03/tipos-de-aerogeneradores.html>

EPM. (2010). Obtenido de

<https://www.epm.com.co/site/documentos/mediosdecomunicacion/publicacionesimpresas/jepirachi/LibroJepirachienespanol.pdf>

EPM. (26 de julio de 2016). Recuperado el 25 de junio de 2017, de

<https://es.slideshare.net/cruizgaray/gua-para-calculiar-el-consumo-elctrico-domstico>

EPM. (2016). Obtenido de [http://www.salariominimo2016.com/tarifas-de-energia-en-medellin-](http://www.salariominimo2016.com/tarifas-de-energia-en-medellin-2016-energia-epm-tarifas-2016/)

[2016-energia-epm-tarifas-2016/](http://www.salariominimo2016.com/tarifas-de-energia-en-medellin-2016-energia-epm-tarifas-2016/)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

Güesguán, Ó. (5 de Noviembre de 2015). *El Espectador*. Obtenido de

<http://www.elespectador.com/noticias/economia/2018-colombia-estara-generando-energia-eolica-articulo-597377>

Leiva, R. (2007). Obtenido de

http://www.archivochile.com/Chile_actual/patag_sin_repre/03/chact_hidroya-3%2000028.pdf

Luvside. (2015). Recuperado el 8 de julio de 2017, de

<http://www.luvside.de/aplicaciones/?lang=es>

Massa, F. (24 de julio de 2010). *Slideshare*. Recuperado el 25 de junio de 2017, de Universidad

Técnica Federico Santa Maria: <https://es.slideshare.net/piea/presentacin-aerogeneradores-2010-final>

Moragues, J. (2003). Obtenido de <http://web.iae.org.ar/>

Moreno, R. (27 de 06 de 2014). *Ecofener*. Obtenido de [http://energias-renovables-y-](http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com.co/)

[limpias.blogspot.com.co/](http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com.co/)

Morimitsu, D. T. (2015). <http://repositorio.utp.edu.co/>. Recuperado el 24 de junio de 2017, de

tesis de la universidad tecnológica de Pereira.

Moya, A. (10 de 2007). Obtenido de <http://159.90.80.55/tesis/000137430.pdf>

Moya, A. F. (octubre de 2007). *Tesis*. Recuperado el 24 de junio de 2017, de

<http://159.90.80.55/tesis/000137430.pdf>

Nieto, C. (8 de Noviembre de 2016). Obtenido de

<http://orientacion.universia.net.co/universidades/universidad-pontificia-bolivariana->

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

11/noticias/el-desarrollo-de-sistemas-de-energia-eolica-proyecto-que-otorga-nueva-patente-a-la-upb-3457.html

Pinilla. (2008). Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/1210/121015051009.pdf>

Pinilla, A. (s.f.). *Revista de ingeniería*. Obtenido de

<http://www.redalyc.org/pdf/1210/121015051009.pdf>

Ramírez, M. (21 de 11 de 2015). *Renovables Verdes*. Obtenido de

<http://www.renovablesverdes.com/aerogeneradores-verticales/>

REN21. (2016). Obtenido de [http://www.ren21.net/wp-](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf)

[content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf)

Revé. (2008).

Rojas, C. (17 de Noviembre de 2014). Obtenido de <http://historiaybiografias.com/navegacion/>

Slideshare. (23 de julio de 2012). Obtenido de [https://es.slideshare.net/victorincon96/parcial-](https://es.slideshare.net/victorincon96/parcial-1vard)


[1vard](https://es.slideshare.net/victorincon96/parcial-1vard)

UCLM. (2012). *Universidad de Castilla la Mancha*. Obtenido de


https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEOLICA_Febrero2012_G9.pdf

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2017-07-10

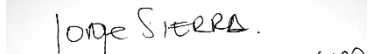
FIRMA ESTUDIANTES


C.C. 15 458 977

Alexandro Danilo Mejia
C.C. 98561384


C.C. 71277150

FIRMA ASESOR _____


ENVIO FDE 089 CORREGIDO
SEGUN FDE 090 EMITIDO
POR EL EVALUADOR.

FECHA ENTREGA: __19-01-2018

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON
MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____