

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL RECURSO  
EÓLICO EN EL MUNICIPIO DE PEREIRA\***

**Presentado por:  
Laura Gómez Correa**

**PROYECTO DE GRADO  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA**

**Director del Proyecto:  
Ingeniero Daniel Carvalho Mejía**



**En convenio con la Universidad del Quindío**

**Presentado ante:  
Facultad de Ingeniería**

**Medellín, Antioquia**

**2015**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del Jurado:**

---

**Jurado:**

---

**Jurado:**

---

## CONTENIDO

CONTENIDO.....	3
RESUMEN.....	6
INTRODUCCIÓN.....	9
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos .....	12
1. LA GENERACIÓN DE ENERGÍA Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES.....	13
EMISIONES ATMOSFÉRICAS Y EFECTO INVERNADERO .....	15
ENERGÍA HIDROELÉCTRICA, LA APUESTA COLOMBIANA.....	19
2. LA ENERGÍA EÓLICA COMO ALTERNATIVA RENOVABLE Y SOSTENIBLE.....	21
HISTORIA DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	21
DEMANDA DE ENERGÍA EÓLICA.....	27
CONCEPTOS BÁSICOS DEL RECURSO EÓLICO.....	29
HUELLA DE CARBONO: ENERGÍA HIDROELÉCTRICA VS. ENERGÍA EÓLICA.....	34
3. CASO DE ESTUDIO.....	39
LOCALIZACIÓN .....	40
CORREDORES DE AVES.....	44
ESTUDIO DE VIENTOS.....	45
Variaciones diurnas .....	47
Variaciones estacionales .....	47
Dirección de viento.....	49
Velocidad promedio anual .....	50
SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA .....	52
Turbina eólica .....	52
Tipología de turbina eólica.....	53
ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO.....	55
ANÁLISIS FINANCIERO .....	62
Costo financiero.....	62
Tiempo de retorno energético económico.....	63
CONCLUSIONES.....	66
RECOMENDACIONES.....	68
BIBLIOGRAFÍA.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Generación actual de energía en Colombia .....	9
Tabla 2. Capacidad instalada de energía eólica costa atlántica.....	10
Tabla 3. Ranking de emisiones de CO2 en el mundo .....	18
Tabla 4. Parques eólicos más grandes del mundo.....	23
Tabla 5. Escala Beaufort.....	30
Tabla 6. Pesos moleculares y factor CO2 equivalente .....	35
Tabla 7. Análisis PPN .....	36
Tabla 8. Estimación de emisiones de CO2 y CH4.....	36
Tabla 9. Conversión emisión de gases energía hidroeléctrica .....	37
Tabla 10. Huella de carbono hidroeléctrica y eólica .....	38
Tabla 11. Resultados encuesta 1 .....	40
Tabla 12. Distribución del suelo en Pereira .....	41
Tabla 13. Zonas de expansión municipio de Pereira.....	41
Tabla 14. Toma de muestras de viento .....	46
Tabla 15. Variaciones diurnas .....	47
Tabla 16. Muestreo método de la bandera .....	50
Tabla 17. Especificaciones turbinas de mediana escala .....	54
Tabla 18. Velocidad de viento mensual por hora .....	56
Tabla 19. Distribución de frecuencias. 360 días de información .....	57
Tabla 20. Características técnicas y productividad energética aerogenerador de 10 Kw.....	59
Tabla 21. Características técnicas y productividad energética aerogenerador de 30 Kw.....	60
Tabla 22. Características técnicas y productividad energética aerogenerador de 50 Kw.....	61
Tabla 23. Precio de las turbinas analizadas .....	62
Tabla 24. Costeo total proyecto eólico por turbina .....	63
Tabla 25. Tabla de costos EEP a Noviembre de 2014.....	64
Tabla 26. Consumo de energía anual en Pereira .....	64
Tabla 27. Tiempo de retorno energético económico .....	65

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Cronología fuentes de energía .....	13
Ilustración 2. Niveles de CO2 en la atmósfera.....	17
Ilustración 3. Emisiones de CO2 históricas en Colombia .....	17
Ilustración 4. 10 países con mayor capacidad eólica instalada año 2011 .....	28
Ilustración 5. Rosa de vientos .....	29
Ilustración 6. Localización de Colombia en el mundo.....	32
Ilustración 7. Rosa de vientos multianuales en Colombia y Risaralda .....	33
Ilustración 8. Ciclo de vida de un proyecto de generación de energía .....	34
Ilustración 9. Localización zona de expansión sur de Pereira.....	42
Ilustración 10. Altura del lote con respecto al centro urbano.....	43
Ilustración 11. Características geográficas del lote .....	43
Ilustración 12. Corredores de aves en Pereira .....	44
Ilustración 13. Localización del lote tomado como caso de estudio .....	45
Ilustración 14. Variaciones estacionales .....	48
Ilustración 15. Método de la bandera.....	49
Ilustración 16. Variación promedio anual. Rosa de los vientos .....	50
Ilustración 17. Componentes turbina eólica.....	52
Ilustración 18. Sistema de conversión eólica eje horizontal (SCEH).....	53
Ilustración 19. Sistemas de conversión eólica eje vertical (SCEV) .....	53
Ilustración 20. Distribución de frecuencia. 360 días de información .....	57

## RESUMEN

La electricidad es un insumo fundamental para el desarrollo actual de la humanidad, es la pieza clave en aspectos que cubren desde necesidades básicas como el acceso a la salud, educación, vivienda y alimentos, hasta hacer parte esencial del desarrollo tecnológico y económico de un territorio.

En Colombia, la cadena productiva de la generación de energía -bajo una matriz predominante hidroeléctrica- tiene asociados impactos ambientales y sociales como la alteración de los regímenes hidrológicos, el transporte de sedimentos, las migraciones ícticas, el desplazamiento de las comunidades, las condiciones de seguridad alimentaria de las poblaciones afectadas aguas abajo y los procesos de erosión remontante asociados con la construcción de represas, entre otros.

El impacto no solo se presenta en la etapa de construcción, puesto que la generación, transmisión, distribución y uso final generan una huella de carbono bastante significativa.

Si bien el sector eléctrico no es el único generador de gases nocivos, dicha plataforma económica genera por sí sola el 40% de emisiones de dióxido de carbono mundiales y por lo menos el 25% del total de todos los gases efecto invernadero, tal como lo afirma el GWEC, Global Wind Energy Council (Sawyer, 2011: 66); por lo que la implementación de una solución de producción de energía limpia implica la reducción sustancial de las emisiones nocivas para el planeta tierra.

Con el propósito de intensificar la aplicación de energías renovables dentro de la matriz energética internacional, la ONU designó el 2012 como el año oficial de las energías renovables. El resultado se ve reflejado en la iniciativa **Energía**

**Sostenible para Todos - SE4ALL**, mediante la cual se plantean tres objetivos que deberán ser alcanzados con la participación y contribución de los países miembros de la ONU: 1) Acceso universal a servicios modernos de energía, 2) Mejora en eficiencia energética y 3) Duplicación de la participación de energías renovables en la matriz energética mundial (SE4ALL, 2012).

Sumado a esto, el desarrollo y aplicación de energías renovables son herramientas importantes para la mitigación y adaptación al cambio climático en la medida en que reducen gases de efecto invernadero (GEI) y diversifican la canasta energética de los países (FEDESARROLLO, 2013).

Este trabajo evalúa la posibilidad de incrementar la competitividad nacional y regional a partir de la generación local de energía en el municipio de Pereira y las ventajas de la generación distribuida respecto a la generación centralizada en términos de eficiencia energética, evidenciando el potencial eólico del municipio para su utilización en la generación de energía eléctrica.

La energía eólica, fuente autóctona de electricidad, representa una alternativa para la modificación del modelo productivo convencional, siendo una tecnología competitiva no solo dentro de las renovables sino también con respecto a la cogeneración de energía. La implementación de ella tiene implícito un mejor aprovechamiento del espacio, un impacto ambiental bajo y un desarrollo a nivel de investigación y tecnología importante.

Su implementación no contamina, contribuyendo a la disminución de emisiones de dióxido de carbono, aportando de este modo en la solución de la crisis ecológica mundial y la desaceleración del cambio climático. La tecnología eólica representa entonces una alternativa a tener en cuenta para la generación de energía limpia, frente a otras formas tradicionales altamente contaminantes o de gran impacto ambiental.

Pese a todos los factores de importancia que ha adquirido el desarrollo en la materia, existe un número muy limitado de investigaciones que aborden la temática de aplicabilidad de estos criterios en Colombia; específicamente en Pereira no existía a la fecha ningún adelanto investigativo. La importancia de este estudio radica en el potencial descubierto en un entorno que no había sido explorado, llegando a ser determinante para el futuro desarrollo tecnológico en este campo y dando apertura a otras investigaciones que complementen el presente estudio.

**Palabras claves:**

Energía hidroeléctrica, potencial eólico, energía eólica.

## INTRODUCCIÓN

En el territorio nacional colombiano, la canasta energética se conforma en su mayoría de energía hidroeléctrica, con un 63.92%, red altamente susceptible frente al cambio climático (UPME, 2012). En cuanto a la generación total de energía, la hídrica oscila entre 45% y el 95% según la disponibilidad del recurso y el resto se produce a partir de centrales térmicas (Behrentz, Cadena, Mutis, Pérez, & Rosales, 2012).

Tabla 1. Generación actual de energía en Colombia

TIPO ENERGÍA	Colombia	Pereira
Energía hidráulica a gran escala:	63,92%	86,92%
Térmica (Gas):	27,41%	12,00%
Térmica (Carbón):	5,20%	0,30%
Energía hídrica a pequeña escala:	3,08%	0,00%
Mini – Gas:	0,17%	0,01%
Cogeneración:	0,15%	0,00%
Eólica:	0,07%	0,00%

*Fuente: Ministerio de minas y energía Colombia*

Tal como lo afirma el Plan de Expansión de Referencia Generación – Transmisión 2018-2027, con una proyección de la demanda energética de por lo menos 3,100 MW.h, se evaluaron dos estrategias de diversificación de la matriz, teniendo en cuenta como primera opción 540 MW.h de generación renovable, entre recurso eólico, geotermia y cogeneración. La segunda opción se presenta con 300 MW.h eólicos en el Norte de la Guajira. Los resultados obtenidos muestran que la energía renovable puede reducir el costo marginal y por lo tanto desplazar generación más costosa, garantizando la confiabilidad del sistema (UPME, 2013).

Considerando que la demanda promedio actual de Colombia se ubica en los 3,629 GW.año, la primera infraestructura de generación energética eólica en operación en el país, Jepírachi, ubicada en la Guajira, solo representa el 0,07%, con una capacidad productiva de 19,5 MW.h. Es una experiencia piloto que hace parte del Programa general de investigaciones, proyectos y actividades asociadas para el desarrollo de la energía eólica en Colombia, con el cual se pretende adquirir conocimientos sobre esta energía, verificar su desempeño y realizar la adaptación tecnológica a las características particulares de medio colombiano. El parque fue inaugurado oficialmente el 21 de Diciembre de 2003 e inició operación plena en abril de 2004 (EPM, 2014). Sumado con otros proyectos eólicos de menor escala en el resto del país, principalmente en la Costa Atlántica, así se distribuye la oferta eólica:

Tabla 2. Capacidad instalada de energía eólica costa atlántica

**CAPACIDAD INSTALADA (10 m altura)**

LUGAR	KW / Hora / m <sup>2</sup> / año
<b>Cabo de la vela</b>	3043
<b>San Andrés</b>	2182
<b>Providencia</b>	1727
<b>Riohacha</b>	829
<b>Soledad</b>	633
<b>Cartagena</b>	587
<b>Valledupar</b>	502

*Fuente: Unidad de planeación minero energética Colombiana UPME*

Solo en la Guajira, Colombia tiene un potencial eólico de 21.000 MW.h, suficiente para abastecer la demanda del país en dos veces (BANAMÉRICAS, 2011). La explotación del potencial eólico solo se ha desarrollado en las zonas costeras, por la mayor disponibilidad de vientos sin barreras físicas.

La implementación de la tecnología eólica se presenta como una oportunidad para desarrollar una generación eléctrica distribuida (GED), modelo que presenta ventajas importantes frente a la generación centralizada que se halla en la matriz predominante hidroeléctrica.

En este modelo de generación se implantan turbinas de mediana escala para auto abastecer ya sea un uso residencial, industrial, comercial u oficial específico, logrando disminuir de forma significativa las pérdidas en la eficiencia de transmisión y distribución que se generan en las extensas redes de energía convencional, aumentando la eficiencia de conversión de las instalaciones (DIOLETTAS, 2013).

En otras zonas del territorio colombiano -como el municipio de Pereira- no hay aún aprovechamiento de la energía eólica, razón por la cual el presente trabajo evalúa el potencial eólico a mediana escala en este municipio, eligiendo un punto geográficamente predominante y analizando sus características físicas por medio de un estudio de vientos, con el fin de conocer las velocidades y frecuencia de este recurso para, finalmente, analizar la viabilidad de implementación de tres tipos de tecnología eólica compatibles con las características físicas del lugar.

El resultado demuestra la viabilidad técnica, evidenciando velocidades de viento mínimas de 4.1 m/s y máximas de 9 m/s, con un potencial eólico correspondiente a aerogeneradores de mediana escala de 10, 30 y 50 kW.h, que para el período de estudio de 8.640 horas, alcanzan a producir 74.520 kW.h, 174.300 kW.h y 304.650 kW.h respectivamente.

El documento está dividido en seis secciones: la primera presenta un panorama general sobre la producción de energía, tomando la fuente convencional hidroeléctrica, su relación con el cambio climático y la fuente

renovable eólica y su actualidad a nivel global. La segunda parte muestra de una manera más detallada el recurso eólico y su huella de carbono con respecto a la de la hidroeléctrica. La tercera sección refleja las características físicas del lugar seleccionado y el estudio de vientos; las siguientes tres secciones presentan los resultados del estudio a través del análisis de las turbinas eólicas de mediana escala, la estimación del potencial eólico, y cómo se comporta el tema financiero en la aplicación de esta tecnología, y por último, se concluyen los resultados obtenidos.

### **Objetivo general**

Evaluar el potencial eólico a mediana escala en la zona de expansión sur del municipio de Pereira, Risaralda.

### **Objetivos específicos**

Estimar la huella de carbono de la generación de energía hidroeléctrica frente a la energía eólica.

Analizar las características físicas del lote seleccionado en la zona de expansión sur del municipio de Pereira.

Realizar el estudio de vientos para reconocer las velocidades y frecuencia de este recurso en el lugar de estudio ubicado en la zona de expansión sur del municipio de Pereira.

Analizar tres tipos de tecnología eólica compatible con las características físicas del lugar de estudio ubicado en la zona de expansión sur del municipio de Pereira.

Estimar la capacidad productiva de energía eólica en el lugar de estudio ubicado en la zona de expansión sur del municipio de Pereira.

Calcular el retorno energético económico de la implementación de energía eólica con base en las tarifas actuales de la empresa prestadora del servicio.

## 1. LA GENERACIÓN DE ENERGÍA Y SUS IMPACTOS AMBIENTALES

Entre las primeras fuentes de energía utilizadas por el hombre está la leña. Hasta la era de la revolución industrial el hombre utilizó, adicional a su esfuerzo, animales domésticos como el caballo para la generación de energía. Posteriormente, la utilización de sistemas mecánicos como molinos de agua o viento hizo que el rendimiento fuera mayor, aunque seguía siendo menos eficiente que las tecnologías de hoy.

Ilustración 1. Cronología fuentes de energía



*Fuente: Investigador*

Luego el hombre encuentra el potencial en fuentes como el carbón, hasta llegar al siglo XIX, donde se desarrolló el primer sistema industrial de abastecimiento colectivo, la máquina a vapor. Este innovador sistema, que no requería fuerzas de tracción, evidencia el comienzo de la era contemporánea, marcando el arranque también de la utilización desmedida de recursos para fines económicos, entre ellos hidrocarburos como los combustibles fósiles, es decir, el petróleo y sus derivados.

El petróleo es un recurso no renovable, pues tarda millones de años para su formación. Se establece por detritos de organismos vivos acuáticos, vegetales y animales. Esta materia orgánica se cubre de sedimentos, transformándose

en hidrocarburos por degradación debido a la presencia de bacterias aerobias y luego anaerobias. Esta reacción produce tres componentes propios de los hidrocarburos: oxígeno, nitrógeno y azufre. Con el tiempo, estos sedimentos se compactan y luego migran a rocas o zonas arenosas más porosas, almacenándose en ellas. Se les llama rocas almacén y es allí donde se realiza la extracción del recurso.

Su creciente industria marcó lo que sería el comienzo de la monopolización alrededor del petróleo y, de este modo, la sobreexplotación de la tierra para fines macro económicos.

Ejemplo de esto es el crecimiento de los Estados Unidos gracias a la excesiva demanda de petróleo generada por la Segunda Guerra Mundial. En 1880 la extracción de petróleo mundial era inferior a un millón de toneladas, de la cual el 89% correspondía a los Estados Unidos. Ya en el año 1900 la producción mundial llegó a los veinte millones de toneladas, cubriendo el 20% del consumo energético mundial. Desde la Segunda Guerra Mundial el petróleo va de la mano con el desarrollo económico global; en ese entonces, las dos terceras partes de la demanda mundial -450 millones de toneladas de petróleo- fueron abastecidas por Estados Unidos.

Sin embargo, el acelerado crecimiento económico mundial del siglo XX está basado en un recurso no renovable (Unión Europea, 2006: 2). Este hecho impulsó el movimiento que hoy se conoce como conciencia medio ambiental. Comienza en el año 1972 con la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, en Estocolmo, Suecia. En dicha Conferencia se aprobó “La Declaración de Estocolmo” y el Programa de acción compuesto por 109 recomendaciones para la cooperación internacional ambiental. Allí se creó el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

Desde esta conferencia, se inició el trabajo legislativo e institucional contra la degradación medioambiental. Fue el inicio también de más de 140 convenios internacionales que hasta ahora se han llevado a cabo por la misma causa.

Esto no fue suficiente. En el año 1973 comenzó la crisis del petróleo (CALVO, 2004: 443), haciendo que productores y consumidores generaran una alarma, obligando al mundo entero a buscar tecnologías alternativas y renovables para suplir la demanda constante de energía que exigía el desarrollo. El petróleo, cada día más costoso por su agotamiento, parecía no bastar.

Sumado a esto, el deterioro medioambiental generado por la extracción, explotación, transformación y transporte de hidrocarburos ha generado impactos ambientales negativos no solo a corto plazo, sino a mediano y largo plazo (GREEN PEACE, 2013).

Hoy se calcula que, si el ritmo actual de extracción de combustibles fósiles se mantiene, en 40 años escasearán todas las fuentes (EREC, 2014), razón por la cual actualmente se invierte en proyectos de investigación y desarrollo de avances tecnológicos que permitan la generación de energía más económica, más limpia y, principalmente, renovable.

## **EMISIONES ATMOSFÉRICAS Y EFECTO INVERNADERO**

El efecto invernadero es un proceso natural que permite mantener la energía proveniente del sol y de este modo mantener las temperaturas globales. Cuando los niveles de CO<sub>2</sub> aumentan en la atmósfera, por el uso desmedido de combustibles o deforestación, este proceso natural se intensifica, de modo que el 70% de la energía solar que entraba y normalmente salía de la atmósfera al espacio, ahora es retenida por el Ozono troposférico (IDEAM, 2011), capa de gases ahora más gruesa, reteniendo la radiación infrarroja y

calentando la atmósfera a nivel global, produciendo efectos irreversibles como sequías, olas de calor, incendios forestales, inundaciones y tormentas, haciendo intolerables las condiciones para la vida humana.

Actualmente, la concentración de gases efecto invernadero se encuentra entre 280 a 360 (PPM) partículas por millón (La Roche, 2010: 61).

**El metano (CH<sub>4</sub>)** se genera en los rellenos sanitarios o embalses (descomposición anaeróbica), en los desechos orgánicos de los animales, el ganado genera el 20% de las emisiones totales mundiales y en el uso de combustibles fósiles (Concentración 1750 ppb).

**El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)** se genera por el uso de fertilizantes nitrogenados y por la quema de combustibles fósiles y biomasa (Concentración 316 ppb).

**El Ozono troposférico** se genera naturalmente y por reacciones químicas generadas por la actividad humana (Incremento 35% 1975 – 2010).

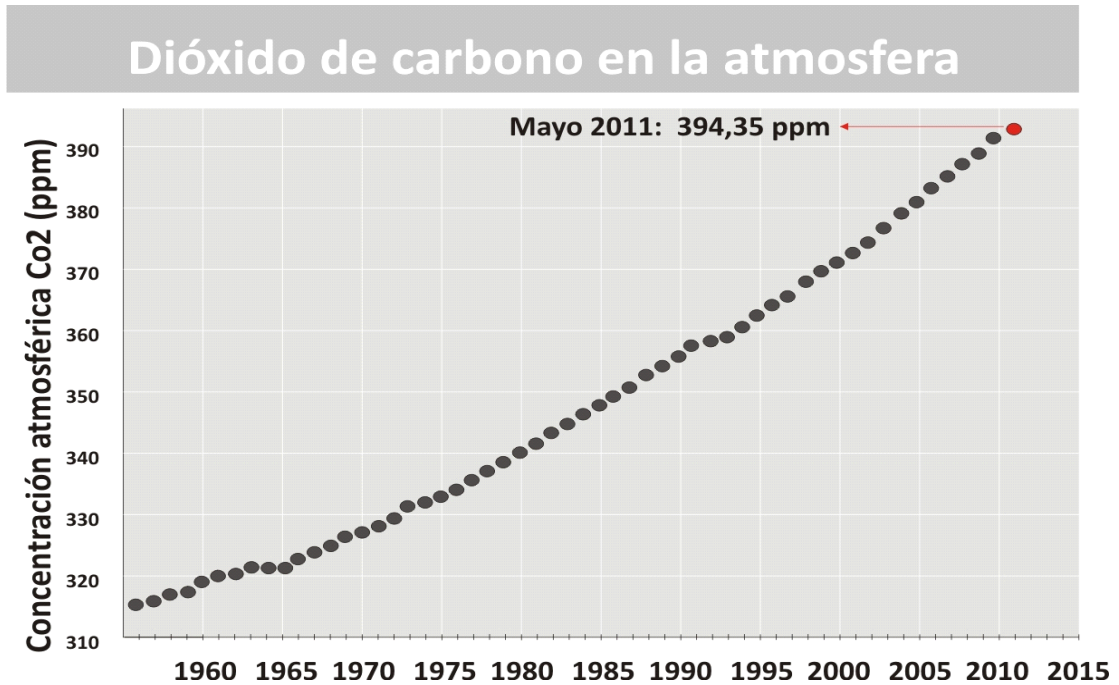
**El ozono estratosférico (O<sub>3</sub>)** absorbe la radiación solar. A causa de concentraciones de bromo y cloro (actividad humana) se ha disminuido el grosor de esta capa.

**Los Halo Carbonos** fueron creados en procesos de industrialización. Debido a su composición gaseosa con concentraciones de cloro, bromo y flúor, intensifican el efecto invernadero planetario y su impacto perdura en el largo plazo.

**El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)** se produce en la quema de combustibles fósiles para procesos industriales, transporte, por el gas natural, petróleo y leña e

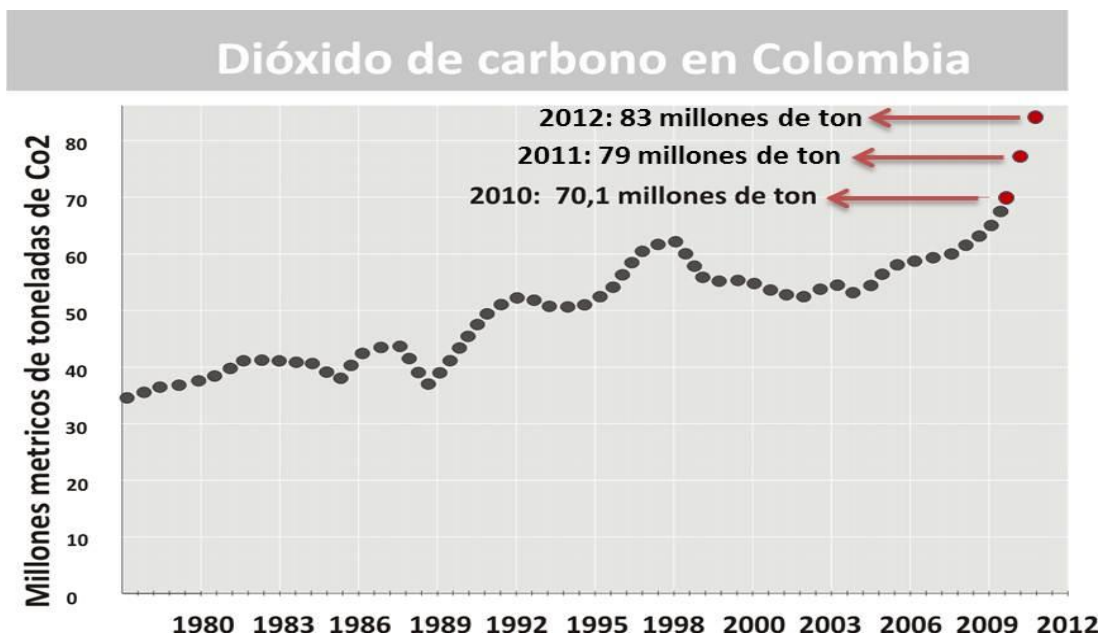
incluso la vivienda, la cual emite el 7% de dióxido de carbono a nivel global (Concentración de 394,35 ppm).

Ilustración 2. Niveles de CO2 en la atmósfera



Fuente: IPCC

Ilustración 3. Emisiones de CO2 históricas en Colombia



Fuente: IDEAM

Esta emisión se distribuye de la siguiente forma en el ranking mundial de contaminantes de CO<sub>2</sub>, atlas publicado por la administración de información de energía de Estados Unidos, con datos condensados hasta el 2012.

Tabla 3. Ranking de emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo

#	MILLONES DE TONELADAS 2013	2010-2011	2011-2012
1	China	9,62	^ 8,81%
2	Norteamérica	5,11	v 2,07%
3	Europa (28)	3,54	v 3,06%
4	India	2,24	^ 3,38%
5	Federación de Rusia	1,80	^ 3,88%
6	Japón	1,25	- 0%
7	África	1,21	- 0%
8	Corea del Sur	,61	^ 6,66%
9	Irán	,60	^ 1,72%
10	Arabia Saudí	,50	^ 2,12%

Fuente: *Global Carbon Atlas*

Las emisiones globales en el año 2012 alcanzaron 35,42 millones de Ton, con un aumento de 2,17% con respecto al año anterior. Pero el aumento de más del 50% en la concentración de los gases efecto invernadero en los últimos 30 años, ha desencadenado efectos irreversibles a la tierra. El cambio climático a nivel global, por ejemplo. Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de la ONU, la temperatura se aumentará por encima de 5,8°C en el próximo siglo, si no se reducen antes del año 2020 las emisiones contaminantes como los gases efecto invernadero.

## **ENERGÍA HIDROELÉCTRICA, LA APUESTA COLOMBIANA**

Históricamente en Colombia el uso de la energía hidroeléctrica ha compuesto en gran mayoría la canasta energética ofrecida, evidenciándola con alta confiabilidad y con unos índices de alta calidad, incluso en el 2012 Colombia ocupó el quinto lugar entre 146 países evaluados en un estudio de Competitividad Global de energía (CHOISEUL Y KPMG, 2012).

Comúnmente considerada como una generación de energía limpia, libre de emisión de gases efecto invernadero, la energía hidroeléctrica se expone actualmente con todos sus efectos nocivos directos e indirectos tanto ambientales como sociales. A continuación se presentan los efectos negativos de la utilización de esta fuente energética en cada una de las etapas de un proyecto hidroeléctrico.

**Etapas de planificación:** El desplazamiento de las comunidades afectadas por los lineamientos de los proyectos a ejecutar, la vulneración de derechos implícitos que incluso ya se han demandado en Colombia, tales como el daño al proyecto de vida, autonomía económica y seguridad alimentaria, daño a las viviendas, el hábitat y la vida comunitaria, daño sicosocial, el derecho a la salud, el desplazamiento de la fauna, daños a las vías de comunicación, afectación al turismo, carencia de titulación y adjudicación de predios, problemas de agua potable, despoblamiento del territorio, incremento de los impuestos prediales (RÍO SOGAMOSO, 2014) son los hechos más representativos que evidencian los impactos negativos generados por este tipo de soluciones.

**Etapas de construcción:** La alteración de los regímenes hidrológicos, transporte de sedimentos, migraciones ícticas, procesos de erosión

remontante asociados con la construcción de represas, son solo algunas situaciones desencadenadas a partir de la construcción de un embalse.

**Etapa de operación:** El factor de contaminación ambiental se considera desde la producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), principalmente debido a la descomposición de materia orgánica ubicada en la zona inundada, liberando los gases por dos vías: por difusión y por burbujeo no solo en el punto donde se origina sino que además son arrastrados por la corriente, siendo liberados también aguas abajo. El panorama se oscurece aún más al tratarse de embalses ubicados en zonas tropicales como Colombia, donde se genera una importante fuente de gas antropogénico.

Las bacterias descomponen la materia y producen CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, este tema toma mucha importancia debido a que estos son dos de los gases antropogénicos de mayor incidencia en el efecto invernadero, teniendo en cuenta que el CH<sub>4</sub> es 21 veces más perjudicial que el mismo CO<sub>2</sub> en un período de 100 años (IPCC, 2010).

En esta etapa se alcanzan a emitir 412.84 toneladas de CO<sub>2</sub> y 222.24 toneladas de CH<sub>4</sub> anuales en un embalse que genera 305 MW.h, es decir 0,19 TON/ MW.h de CO<sub>2</sub> y 0,10 TON/ MW.h. (IADB, 2012).

## **2. LA ENERGÍA EÓLICA COMO ALTERNATIVA RENOVABLE Y SOSTENIBLE**

### **HISTORIA DE LA ENERGÍA EÓLICA**

La producción de energía eléctrica a partir del viento comenzó su desarrollo hacia finales del siglo XIX en Dinamarca, con un programa que inició el gobierno danés con el fin de darle un uso más eficiente a las bombas eólicas existentes a lo largo y ancho de ese país. El proyecto pretendía transformar los viejos molinos, de este modo su producción energética sería significativa. El profesor LaCour fue encargado de la dirección del programa. Finalmente, LaCour diseñó el primer prototipo de aerogenerador eléctrico (BOUZAREÑZ, 2007). Este prototipo (Rotor cuatri pala de 25 m de diámetro. Producción entre 5 y 25 kW.h. Altura: 24 m), fue uno de los primeros pasos para el desarrollo de aerogeneradores, pero la teoría aerodinámica apenas daba sus primeros pasos.

La aerodinámica es la ciencia que estudia el movimiento del aire y de este modo su incidencia sobre cuerpos que se mueven en él. Esta ciencia comienza su pleno desarrollo en el siglo XX. Su relación con la tecnología eólica es la incidencia del viento sobre las turbinas eólicas o aerogeneradores. La pieza que va en contacto directo con el viento y recibe su fuerza se llama aspa o hélice. Ella genera energía rotacional al contacto con el aire en movimiento, de modo que la teoría aerodinámica ayudó al correcto entendimiento de las fuerzas que produce el aire y de este modo permitió que la tecnología avanzara, logrando diseños que fuesen más productivos. Para el año 1920 se lograron los primeros avances con diseños aerodinámicos, aplicados inicialmente al desarrollo de alas y hélices de aviones, las cuales funcionan

bajo el mismo principio de energía rotacional convertida en energía eléctrica por medio de un aerogenerador.









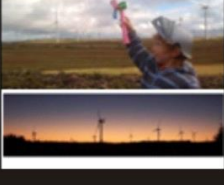

A. J. Dekker (1927) implementó el primer prototipo de turbina eólica con sección aerodinámica. Consiguió velocidades de rotación de aspa cinco veces superior al viento incidente, de modo que si la turbina eólica se ubicaba en un entorno con velocidades de viento de 5 m/s, entonces las aspas giraban a 25 m/s, la clave fue reducir el número de aspas o palas a dos y tres, bipala y tripala respectivamente, a diferencia de los modelos anteriores llamados multipala, con hasta 15 aspas, que solo conseguían velocidades rotacionales del doble del viento incidente.











**Siglo XX.** La era de conciencia acerca de los recursos no renovables hizo que se intensificaran los esfuerzos por el hallazgo de nuevas fuentes de energía, entre ellas la eólica.

**Siglo XXI.** Los países industrializados direccionaron sus desarrollos tecnológicos hacia la producción de energía eléctrica. Entre los avances importantes, se presentan las turbinas eólicas con diseños y materiales revolucionarios. El recurso eólico ha dejado de ser una potencial alternativa de abastecimiento para convertirse en una realidad. Las turbinas eólicas son hoy una opción más en el mercado de la generación eléctrica (MIRANDA, 2009).

Esto define el diseño y ejecución de parques eólicos. Estos parques están compuestos por un conjunto de aerogeneradores de 1 a 2 Megavatios de potencia, con grandes estructuras hasta de 150 m de altura y 70 m de diámetro, con capacidad de abastecer ciudades hasta de 500.000 habitantes. A continuación se presenta el listado de los 20 parques eólicos más grandes del mundo al año 2010, situando a Estados Unidos como el país con mayor concentración de parques eólicos de gran escala.

Tabla 4. Parques eólicos más grandes del mundo

1	Horse Hollow Wind Energy Center	736 MW	Taylor, Texas. Estados Unidos	2	Tehachapi Pass Wind Farm	690 MW	California, Estados Unidos
			421 turbinas para alimentar 220.000 hogares al año.				5.000 turbinas de empresas diferentes.
3	San Geronio Pass Wind Farm	619 MW	Palm springs, California. Estados Unidos	4	Altamont Pass Wind Farm	606 MW	Central California, Estados Unidos
			Producción energética confiable debido a la mezcla de aire caliente del desierto y aire frío de las costas.				Uno de los parques eólicos mas antiguos. Al situarse en una ruta de aves migratorias, ha matado miles.
5	Sweetwater Wind	505 MW	Houston, Texas. Estados Unidos	6	Peetz Wind Farm	400 MW	Colorado, Estados Unidos
			135 turbinas de 1 MW y 46 turbinas de 2,3 MW.				267 turbinas general electric y 33 turbinas NEG micon.
7	Buffalo Gap Wind Farm	353 MW	Taylor Counties, Texas. Estados Unidos	8	Maple Ridge Wind Farm	322 MW	Lowville, New York. Estados Unidos
			67 turbinas vestas de 1,8 MW.				195 turbinas. El parque eólico mas grande al este de Mississippi.
9	Whitelee Wind Farm	322 MW	Reino Unido	10	Thornton bank Wind Farm	300 MW	Bélgica
			Uno de los parques eólicos mas grandes de Europa. 140 turbinas que abastecen 180.000 hogares.				A 28 Kms de las costas de Bélgica, instalados de 12 a 27 mts del agua del mar.

11	Stateline Wind Project	300MW	Vansycle Ridge, Washington. Estados Unidos	12	King Mountain Wind Farm	281 MW	Upton County, Texas. Estados Unidos
			El parque eólico funciona con turbinas vestas de 660 KWA.				214 turbinas siemens de 1,3 MW estan instaladas en este parque eólico.
13	Alto Minho Parque Eólico	240MW	Valle de Minho, Portugal	14	Wild Horse Wind Farm	229 MW	Kittitas County, Washington. Estados Unidos
			120 aerogeneradores que evitan la producción de 370 mil toneladas de CO2 anuales.				127 turbinas en 25.000 hectáreas.
15	Blue Canyon Wind Farm	225MW	Slick Hills, Oklahoma. Estados Unidos	16	Roscoe Wind Farm	209 MW	Roscoe, Texas. Estados Unidos
			45 generadores Vestas de 1,65 MW. Abastece por lo menos 20.000 hogares.				Con miras a ser el mayor parque eólico de Estados Unidos.
17	Maranchón Parque Eólico	208MW	Maranchón, Guadalajara. España	18	Fenton Wind Farm	206MW	Estados Unidos
			Cuenta con 104 aerogeneradores instalados.				137 turbinas General Electric de 1,5 MW.
19	New Mexico Wind Energy Center	208MW	New Mexico, Estados Unidos	20	Vankusawade Wind Park	206MW	India
			136 turbinas que abastecen alrededor de 94.000 hogares.				490 turbinas de 350 KWA instaladas.

Fuente: BBC

No solo se han desarrollado proyectos a gran escala. La tecnología también se ha enfocado en el desarrollo de prototipos de turbinas mucho más económicas, denominadas micro turbinas o micro aerogeneradores, que abastecen la necesidad de unidades de vivienda principalmente aisladas, con capacidades productivas de 1 a 5 kW.h de potencia. La proporción de estos aerogeneradores se define en un promedio de 15 m de altura y 2 m de diámetro.

A mediana y pequeña escala, en el mundo se han desarrollado investigaciones para determinar la viabilidad para la ejecución de proyectos con la implementación de energía eólica.

Una investigación realizada para determinar las consideraciones técnicas y económicas en la posible implementación de energía eólica en el área de Liguria, ubicada en el noroccidente de Italia, demuestra que se debe realizar un análisis riguroso especialmente en el soporte técnico en relación al recurso viento, puesto que en este caso, por ejemplo, se da un concepto negativo en la viabilidad del proyecto debido a la irregularidad y bajas velocidades de viento que se presentan en este entorno (MARINIA CAPELLOB, GOFFIC y ROMEIB, 1998: 441).

En Teherán, capital de Irán, se realizan muestras de viento para determinar de igual forma que la investigación anteriormente mencionada, la viabilidad de la instalación de aerogeneradores. Como conclusión, la distribución de vientos del lugar muestra muy promisorio el entorno para asegurar la constante generación de energía eólica (KEYHANI, GHASEMI-VARNAMKHASTI, KHANALI y ABBASZADEH).

Otros conceptos favorables a la viabilidad de proyectos a mediana y pequeña escala se han concluido en países como Turquía (CUMALI, İSMAIL, 2002:

2207), Jordania (HABALI, AMR, SALEH, TA'ANI, 2001:357), en las provincias del norte de Camerún (TCHINDA, KAPTOUOM, 2003:857) y el archipiélago de Bahrein (FEREGH, 1993:506), por mencionar algunos; convirtiéndose en investigaciones base para el previo conocimiento de los aspectos a analizar en el presente estudio para determinar el potencial de esta tecnología especialmente en ciudades como Pereira.

El desarrollo de capacidad productiva latinoamericana, específicamente la colombiana, ha avanzado también con proyectos tanto de investigación como de aplicación. Un ejemplo es el programa de Investigaciones, proyectos y actividades asociadas para el desarrollo de la energía eólica en Colombia.

El programa cuenta con el respaldo del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología Francisco José de Caldas (Colciencias), entidad que lo valoró como innovación tecnológica y le concedió exenciones tributarias, y del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, como programa bandera de la estrategia nacional de cambio climático.

Tal y como lo indica el ministerio de Minas y Energía en su publicación Atlas del viento y energía eólica en Colombia, "...El Gobierno Nacional, al tomar en consideración su responsabilidad en lograr un desarrollo social y económico que permita conservar el medio ambiente en sus mejores condiciones de equilibrio sostenible, ha materializado en buena parte su gran interés en este tema a través de la Ley 697 de 2001 en la cual se ordena la realización de inventarios nacionales de los recursos energéticos renovables con que cuenta el país, con el fin de conocer las potencialidades en esa materia". Ejemplo de ello es el Parque eólico Jepírachi.

## **DEMANDA DE ENERGÍA EÓLICA**

Según datos tomados al año 2008, en el mundo el uso de energía eólica correspondía a un total del 1% de la demanda mundial, diferente en países pioneros como Dinamarca, con un abastecimiento de energía eólica del 19%, también España y Portugal alcanzan un 9% y países como Alemania e Irlanda, un 6% (PASICKO, BRANKOVIC, SIMIC. 2012: 224-231).

Para finales del año 2010, la generación eólica aumentó con respecto a los datos tomados al año 2008, abasteciendo por lo menos el 2,5% de la demanda energética mundial, generando 197 gigavatios de los 430 Tera vatios en los que se ubicaba para ese momento la producción energética global. Para este año, Dinamarca alcanza un abastecimiento eólico del 21% de su demanda actual, Portugal 18% y España 16%.

Al año 2011, China entra a reemplazar a Estados Unidos como el país con mayor capacidad instalada de energía eólica, con un crecimiento interanual del 62%, instalando en 2010 16 GW, para un total de capacidad instalada en el país de 41,8 GW, afirma Li Junfeng, secretaria general de la asociación de industrias de energías renovables de China (CREIA). Mientras tanto, Estados Unidos en 2011, aumentó su capacidad instalada a 40,2 GW.

Ilustración 4. 10 países con mayor capacidad eólica instalada año 2011



Fuente: IPCC

A nivel latinoamericano, Brasil ocupa el primer lugar. De acuerdo con su producción energética de 1 GW eólico instalado, tal como lo asegura la agencia nacional de energía eléctrica (ANEEL) y con una tasa de crecimiento de 53,3% en 2010, no solo es el país latinoamericano líder en el sector, contando por lo menos con el 46% de la capacidad instalada en América latina, sino que además es un importante fabricante de aerogeneradores.

Seguido a Brasil, se encuentran países como México, con una capacidad eólica instalada de 521 MW.h, ocupando el lugar 25 en el ranking mundial. Además la empresa Cannon Power Group anunció la próxima instalación de 312 MW.h en distribuidos en tres parques eólicos: La Rumorosa en Baja California, Zacatecas y Quintana Roo. Chile, Costa Rica y Argentina, cuentan con capacidades instaladas de 172 MW.h, 123 MW.h y 60 MW.h respectivamente.

Colombia está muy distante de estas cifras mundiales, puesto que de los 3,629 Giga Vatios Hora (GW.h) que demanda el país anualmente, 19,5 Mega Vatios Hora (MW.h) son abastecidos por energía eólica. Esto representa solo el

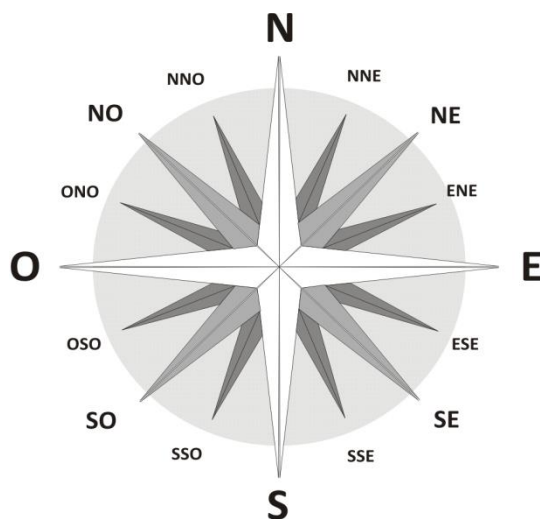
0,07% del consumo nacional anual. Actualmente la energía convencional hidroeléctrica abastece el 63,92% de la demanda del país (ISAAC, GONZALEZ, AREIZA, BIENCHI, CARDONA, LOPÉZ. 2010: 231).

## CONCEPTOS BÁSICOS DEL RECURSO EÓLICO

El movimiento horizontal que realiza el aire paralelo a la superficie de la tierra, se reconoce como viento. Su origen se da tras las diferencias de presión, desplazándose desde las zonas con alta presión hasta las que presentan baja presión.

La dirección del viento significa el lugar de procedencia y se expresa por medio de la ROSA DE VIENTOS. Se compone de 16 sentidos, así:

Ilustración 5. Rosa de vientos



Los cuatro rumbos laterales son: Norte, Este, Sur y Oeste. Los ocho rumbos colaterales son: NNE, ENE, ESE, SSE, SSO, OSO, ONO, NNO.

*Fuente: Investigador*

La velocidad del viento, se mide según la escala Beaufort, que va desde 0 hasta 12, siendo 0 calma total y 12, huracán.

Tabla 5. Escala Beaufort

### ESCALA BEAUFORT

°C	Viento KM/H	Denominación	Características visuales
0	1	Calma	Humo vertical. Anemómetro no gira
1	1 a 5	Brisa suave	Humo inclinado. Veletas se mueven.
2	6 a 11	Brisa suave	Comienza a sentirse. Banderas se elevan.
3	12 a 19	Viento leve	Se mueven las hojas. Banderas flamean.
4	20 a 28	Viento moderado	Se levanta material particulado. Banderas agitan.
5	29 a 38	Viento regular	Vuela arena. Se agitan las ramas.
6	39 a 49	Viento fuerte	Se doblan las ramas gruesas.
7	50 a 61	Viento muy fuerte	Se rompen las ramas. Difícil caminar.
8	62 a 74	Viento duro	Desgaja árboles. Caminar inclinado.
9	75 a 88	Viento temporal	Arrastra objetos. Imposible caminar.
10	89 a 102	Viento muy duro	Daños y consecuencias variadas.
11	103 a 117	Borrasca	Daños y consecuencias variadas.
12	118 a 133	Huracán	Daños y consecuencias variadas.

Fuente: CIESE

Esta escala ayuda a determinar las velocidades de viento de un lugar, a partir del comportamiento de los elementos como humo, banderas y árboles que puedan estar presentes. De acuerdo a su reacción frente al viento, se cataloga la velocidad del mismo en la escala de 0 a 12.

## **Clasificación de los vientos**

Los vientos se clasifican en globales, estacionales, anticiclónicos, ciclónicos y locales.

**Globales:** Los vientos globales son los movimientos de aire generales que determinan las características climatológicas en el planeta. En las zonas cercanas al Ecuador, como Colombia, los vientos suben por ser zona de aire caliente, desplazándose en sentido norte y sur. Colombia también tiene influencia de los vientos alisios, fenómeno que se presenta cuando hay zonas de altas presiones y el aire desciende.

**Estacionales:** Cuando en la tierra se presentan bajas presiones y altas temperaturas y lo contrario ocurre en los océanos, se denomina verano. Cuando son los continentes los que presentan altas presiones y bajas temperaturas y los vientos van hacia los océanos, se denomina invierno.

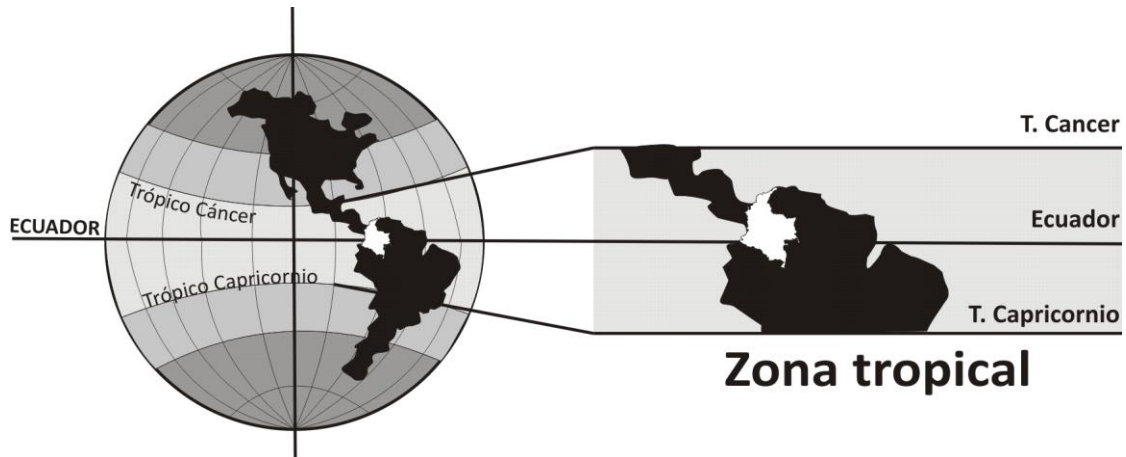
**Ciclónicos:** Áreas donde la presión es inferior a la normal.

**Anticiclónicos.** Áreas donde la presión es superior a la normal.

**Locales:** Estos tienen dos connotaciones. Las brisas marinas y las brisas terrestres. La tierra se calienta más que el mar durante el día. El aire caliente de la tierra se eleva y va hacia el mar, siendo reemplazado por el aire frío que se encontraba en el mar. A estas corrientes de aire se les denomina brisa marina. Lo contrario ocurre durante la noche. Dado que la tierra está más fría que el mar, el aire frío desciende a la tierra y va hacia el mar. El aire caliente que se encontraba en el mar, ahora más frío, es reemplazado por el que viene de la tierra. A estas corrientes de aire se les denomina brisa terrestre.

## En Colombia

Ilustración 6. Localización de Colombia en el mundo



*Fuente: Banrepcultural*

Colombia se ubica en la zona tropical. Esto hace que sus condiciones climatológicas sean especiales. De este modo, a continuación se realiza un reconocimiento de los conceptos descritos anteriormente, aplicándolos a Colombia específicamente.

### Vientos en Colombia

Entre los diferentes tipos de viento, los más importantes para Colombia son los alisios. La zona por donde pasa la línea del Ecuador es la más cálida de la Tierra y por consiguiente, un área de bajas presiones. Los vientos alisios son los que soplan desde las regiones de altas presiones hacia la zona ecuatorial.

**Los vientos alisios del noreste** llevan humedad hacia la región colombiana situada al sur del Ecuador.

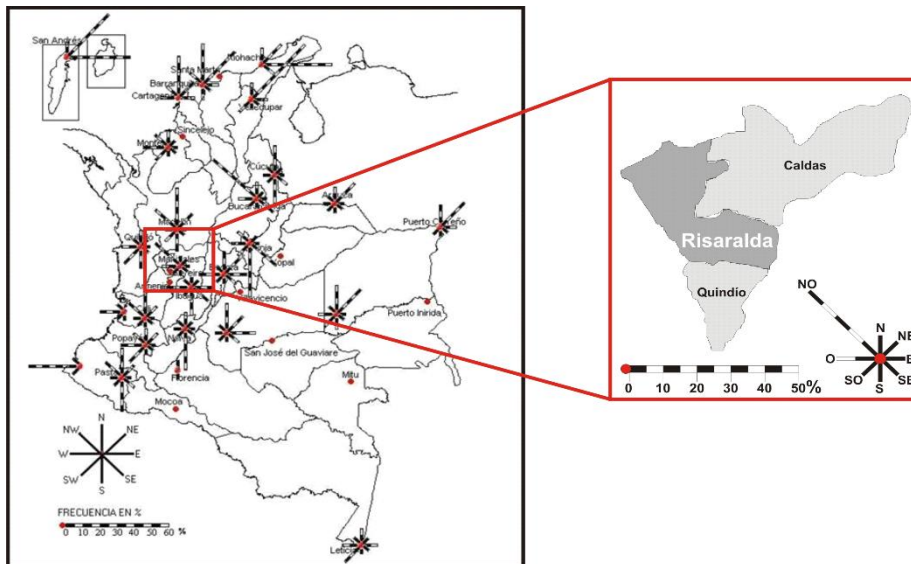
**Los vientos alisios del sureste** llevan humedad y calor hacia el territorio de Colombia situado en el hemisferio norte.

**Los vientos alisios del noroeste** soplan en todo el territorio y llevan abundantes lluvias.

**Los vientos del oeste** modifican el clima de la llanura del Pacífico. Soplan desde el océano y al tropezar con las serranías y la ladera oeste de la cordillera Occidental, se producen abundantes lluvias en toda la región costera, durante el año entero (GARCÍA, 2008).

## Mapa de vientos en Colombia

Ilustración 7. Rosa de vientos multianuales en Colombia y Risaralda



Fuente: UPME

Para el caso del municipio de Pereira, esto significa una incidencia mayoritaria de vientos provenientes de la dirección nor oeste, con frecuencias de 25%. De dirección oeste se destaca una influencia de 10%. El análisis específico y estudio de vientos de la zona de expansión sur del municipio de Pereira se realiza luego del análisis físico del contexto, en el capítulo correspondiente.

Así que una vez entendidos los conceptos básicos del viento y su incidencia tanto en la atmósfera como en la superficie terrestre en el mundo y específicamente en Colombia, Risaralda y Pereira, es necesario entender su potencial en la generación de energía eólica, por ser una fuente renovable y por representar beneficios al medio ambiente.



1. Pre-llenado del embalse Reventazón (ETAPA 2)
2. Post-llenado del embalse Reventazón (ETAPA 3)

Algunos datos basados en literatura provienen del Centro de Archivos Activos del Laboratorio Nacional Oak Ridge del Departamento de Energía de EE.UU. (LNOR – CAA, 2013), quienes tienen mediciones realizadas en 65 lugares alrededor del mundo, de modo que en el análisis del proyecto en cuestión, se tomaron 19 sitios localizados en bosques tropicales, con condiciones climáticas semejantes, arrojando los valores de producción primaria neta (PPN). Para realizar los diversos cálculos se utilizan los pesos moleculares y factores equivalentes de CO<sub>2</sub>.

Tabla 6. Pesos moleculares y factor CO<sub>2</sub> equivalente

PARÁMETRO	SÍMBOLO	PESO MOLECULAR	FACTOR CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	44	1
Metano	CH <sub>4</sub>	16	21 (IPCC, 2001)
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O	44	310 (IPCC, 2001)

Fuente: Estudio ambiental PH Reventazón

### **Evaluación del embalse durante la fase del pre-llenado (ETAPA 2).**

Productividad primaria neta (PPN), que representa el consumo de carbón existente y tasa de conversión de la superficie forestal en gramos por metro cuadrado por año (g/m<sup>2</sup> /año), lo que permite la estimación de la línea base de emisiones GEI (*INTEGRATED ENVIRONMENTS, 2006*). A continuación se muestra un resumen de los datos de PPN y su aplicación al Proyecto:

Tabla 7. Análisis PPN

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	FUENTE
PPN (Promedio)	2240.2	gC/m2/año	ORNL
Área de embalse R	6900000	m2	Datos del proyecto
C convertido y emitido (ton/año)	15457	Ton/año	Calculadas
CO2 emitido	56672	Ton/año	Calculado a partir del coeficiente peso molecular C a CO2

Fuente: Estudio ambiental PH Reventazón

### Evaluación del embalse durante la fase del post-llenado (ETAPA 3).

Los gases emitidos desde el embalse se presentan por cuatro vías: flujo difusivo, burbujeo, desgasificación, y directamente desde el río aguas abajo de la presa (*INTEGRATED ENVIRONMENTS, 2006*).

Tabla 8. Estimación de emisiones de CO2 y CH4

VIA	CO2	CO2CO2	CH4	CH4CO2	UNIDADES	FUENTE
Flujo difusivo	22.833	22.883	1.033	21.693	TON/AÑO	CALCULADO
Burbujeo	0	0	1.773	37.233	TON/AÑO	CALCULADO
Desgasificación	1.495	1.495	685	14.385	TON/AÑO	CALCULADO
Río aguas abajo	166.221	166.221	7.092	148.932	TON/AÑO	CALCULADO
SUBTOTALES		190.599		222.243	TON CO2/AÑO	SUMA
<b>TOTAL CO2 EQUIVALENTES</b>		<b>412.842</b>			<b>TON CO2/AÑO</b>	<b>SUMA CO2 Y CH4 EQUIVALENTES</b>

Fuente: Estudio ambiental PH Reventazón

Como conclusión, se observaron unas emisiones brutas de pre-llenado de 56.672 Ton/año y de post-llenado de 412.842 Ton/año.

Para calcular el porcentaje de pérdidas de potencia y energía de las redes de distribución de energía hidroeléctrica se toma como base un estudio de Redes de distribución de energía realizado por la Universidad Nacional, donde se

arroja entre un 10% y 15% para las redes colombianas (RAMIREZ, 2012). Para el caso de la etapa 4 del proyecto, el cierre, el proyecto hidroeléctrico continúa emitiendo los mismos gases que en su etapa de operación y desarrollo.

Ahora bien, la información de la huella de carbono eólica, se toma con la media de las emisiones de las 400 plantas instaladas en el mundo de la empresa ENEL (2666 MW.h) y las 400 plantas de la empresa Vattenfall (2666 MW.h). Cabe resaltar que la eólica no genera metano (CH<sub>4</sub>).

Debido a que los datos del PH **Reventazón** están en TON/AÑO y los datos de energía eólica están en GR/ kW.h, se hace una conversión de los datos del proyecto hidroeléctrico, de modo que se pueda observar su emisión por cada kW.h producido, así:

Tabla 9. Conversión emisión de gases energía hidroeléctrica

CONVERSIÓN EMISIÓN DE GASES DE TON/AÑO – GRAMOS/kWh

<b>CO2 EMITIDO</b>	<b>TON/AÑO</b>	<b>GR/AÑO</b>	<b>PROD MEDIA ANUAL kWh</b>	<b>GR/kWh</b>
ETAPA 2	56672	56672000000	1572800000	36.03
ETAPA 3	190599	190599000000	1572800000	121.18
PÉRDIDAS EN RED	28589.85	28589850000	1572800000	18.18
ETAPA 4	190599	190599000000	1572800000	121.18
<b>CH4 EMITIDO</b>	<b>TON/AÑO</b>	<b>GR/AÑO</b>	<b>PROD MEDIA ANUAL kWh</b>	<b>GR/kWh</b>
ETAPA 2	222243	222243000000	1572800000	141.30
ETAPA 4	222243	222243000000	1572800000	141.30

Fuente: Investigador

Una vez obtenidos estos datos, se puede comparar la emisión de ambas tecnologías.

Tabla 10. Huella de carbono hidroeléctrica y eólica

**EMISIÓN DE GASES EN GRAMOS/AÑO**

		ETAPA 2	ETAPA 3	PÉRDIDAS EN RED	ETAPA 4	TOTAL
ENERGÍA	CO2	36.03	121.18	18.18	121.18	296.57
HIDROELÉCTRICA	CH4	-	141.3	-	141.3	282.6
ENERGÍA EÓLICA	CO2	18.7	1.4	0.97	1.35	22.42

Fuente: PH Reventazón, ENEL y Vattenfall

Según estos cálculos, el uso de tecnología eólica representaría una disminución de 274.15 gr de CO<sub>2</sub>, y 282.6 gr de CH<sub>4</sub> por cada kW.h generado con respecto a la energía hidroeléctrica.

### **3. CASO DE ESTUDIO.**

#### **ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y FINANCIERA DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DEL RECURSO EÓLICO EN EL MUNICIPIO DE PEREIRA.**

Para lograr un análisis detallado que arroje resultados específicos, se toma un caso de estudio en el que se aplica la metodología necesaria para estimar el potencial eólico de un lugar particular y de este modo concluir la viabilidad técnica y financiera de la implementación de la energía eólica.

En un primer momento, se realiza una matriz de macro localización para determinar entre Pereira y Armenia, cuál de los municipios posee mejores atributos para el desarrollo de proyectos de construcción, analizando ocho factores claves y entregando puntaje a cada uno de ellos. Para la elaboración de esta matriz, se realiza una encuesta con preguntas cerradas, tomando como muestra participantes del sector de la construcción.

Se toma la población que según información recogida en la curaduría urbana 1 de Pereira y la curaduría urbana 1 de Armenia, hayan legalizado una licencia de construcción de vivienda y urbanismo en los últimos 15 días. En la ciudad de Pereira fueron 8 los casos y en Armenia 5, de modo que para tener un muestreo proporcional, se realiza la encuesta a los 5 participantes del sector de la construcción de Armenia y aleatoriamente se eligen 5 de los 8 en Pereira.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 11. Resultados encuesta 1

FACTORES	Hi		PEREIRA	PUNTAJE	ARMENIA	PUNTAJE
Reglamentación fiscal y legal	4	13,79	5	68,97	1	13,793
Clima y localización Geográfica	5	17,24	5	86,21	4	68,966
Desarrollo comercial e industrial	5	17,24	5	86,21	1	17,241
Sistemas masivos de transporte	2	6,90	5	34,48	1	6,897
Abastecimiento de agua y servicios públicos	2	6,90	5	34,48	5	34,483
Materias primas	3	10,34	5	51,72	3	31,034
Dinámica Inmobiliaria	4	13,79	5	68,97	3	41,379
Población Objetivo	4	13,79	5	68,97	3	41,379
<b>TOTALES</b>	<b>29</b>	<b>100</b>	<b>40</b>	<b>500,00</b>	<b>21</b>	<b>255,172</b>

*Fuente: Investigador*

El municipio de Pereira obtiene 500 puntos mientras que el municipio de Armenia obtiene 255,172 puntos, convirtiendo a Pereira en una plaza más viable según estos criterios de evaluación, para la ejecución de este tipo de proyectos y por lo tanto se elige como territorio de estudio para el presente trabajo.

## LOCALIZACIÓN

El municipio de Pereira se ubica en la zona centro occidental de Colombia, inscrito en el triángulo cafetero. Pereira es el municipio capital del departamento de Risaralda y es la ciudad más importante entre las que componen el triángulo del café (Departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda). De acuerdo con el último censo del DANE e informes presentados por el Departamento Nacional de Planeación DNP, Pereira se compone de una población urbana aproximada de 500.000 habitantes y 750.000 en su área metropolitana (Pereira y Dosquebradas).

Pereira ocupa el décimo lugar en población y el quinto en importancia con respecto al resto del país. La distribución del suelo en el Municipio es así:

Tabla 12. Distribución del suelo en Pereira

Tipo de Suelo	Área Ha	%
Suelo Urbano	2.710	4,44
Suelo Expansión	1.753	2,88
Suelo Rural	56.437	92,7
Total	60.900	100

Fuente: Planeación Municipal Pereira

Dentro del suelo de expansión, se encuentra la zona de expansión sur del municipio. Esta es la zona elegida para enfocar el presente estudio, ya que por ser geográficamente predominante es más factible el potencial eólico del sector. A continuación se hace una relación de las 7 zonas de expansión planteadas por el POT del Municipio, así:

Tabla 13. Zonas de expansión municipio de Pereira

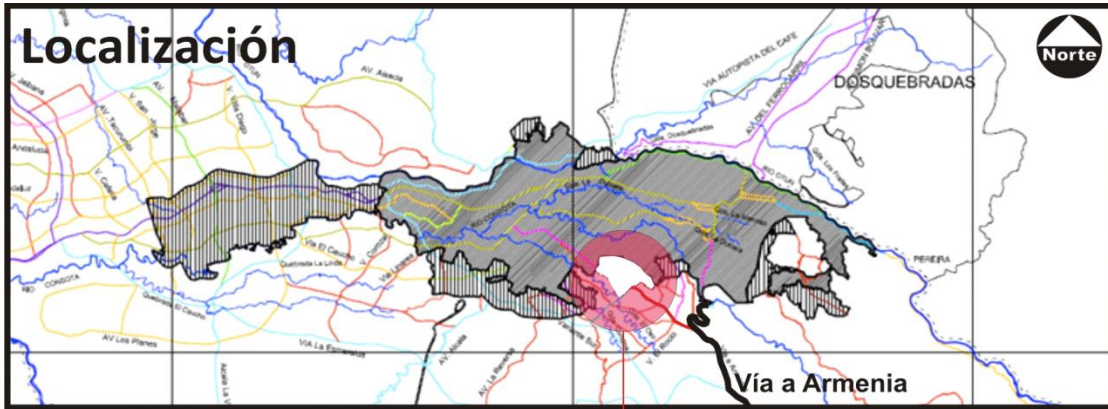
Suelo	Área Ha	% Restricción pendiente	% Suelo recreación	%Vías	% Suelo de Protección	% Área útil	Área Útil Ha
Norte A	20,4	24	0,1	20,7	0	55,1	11,2404
Norte B	43,5	0	1,1	30,5	30,4	38	16,53
Pimpollo	11,8	25	0	52,6	19,5	2,9	0,3422
Occidental	873,3	5	8,3	33,7	18,1	34,9	304,7817
Oriental	108,8	25,7	2,1	19,4	29,2	23,6	25,6768
Sur	32,7	8,5	0,1	18,8	41,5	31,1	10,1697
<b>Oriental</b>							
<b>Sur</b>	<b>484,1</b>	<b>11,6</b>	<b>0,1</b>	<b>27,7</b>	<b>27,2</b>	<b>33,4</b>	<b>161,6894</b>

Fuente: Planeación Municipal Pereira

La tabla anterior indica que la zona de expansión sur, posee un área útil de 161,6 Hectáreas.

Esta zona de expansión se ubica con respecto al municipio de Pereira, así:

Ilustración 9. Localización zona de expansión sur de Pereira



**zona de expansión SUR**



Vista desde la avenida Cuba-Huertas

Fuente: Investigador

## El lote

Ilustración 10. Altura del lote con respecto al centro urbano



Fuente: Google Earth

Ilustración 11. Características geográficas del lote



Fuente: Google Earth

El lote se encuentra en un nivel más alto con respecto a su entorno inmediato, cumpliendo con el requisito de disponibilidad mayor de vientos por mayor altura y por ausencia de obstáculos físicos inmediatos.

## **CORREDORES DE AVES**

En cuanto a la presencia de aves en el municipio de Pereira, ellas se distribuyen según relictos boscosos observados a continuación:

Ilustración 12. Corredores de aves en Pereira



*Fuente: Google Earth - PROAVES*

Esto es importante puesto que una de las barreras más representativas de la tecnología eólica es el impacto que se genere en las poblaciones de aves, ya que en el momento en que las turbinas entran en movimiento, las aspas son difíciles de visualizar, de modo que la ubicación adecuada de los aerogeneradores es un aspecto de vital importancia para que no genere efectos de riesgo en contra de esta especie.

El área de incidencia de corredores de aves sobre el lote a analizar es nula, según inventarios presentados por la organización Pro aves.

## ESTUDIO DE VIENTOS

El estudio de vientos del sector ubicado en la zona de expansión sur del municipio de Pereira, se realiza para determinar el potencial de energía eólica de mediana escala en el municipio.

Ilustración 13. Localización del lote tomado como caso de estudio



Estudio de vientos para sector ubicado sobre la avenida Cuba - Huertas

*Fuente: Google Earth*

Este estudio se realiza a partir de tomas de información entregada por la estación meteorológica Alpred, S.L. empresa dedicada al suministro de información meteorológica en todos sus ámbitos, en forma de muestras

cíclicas y de este modo se determinan las velocidades y dirección de viento en el sector.

La frecuencia de vientos se registra mediante muestras desde el mes de Agosto del año 2010 hasta el mes de Julio del año 2011, así:

Tabla 14. Toma de muestras de viento

Mes	Día	Horas				
Agosto	5	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Septiembre	12	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Octubre	19	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Noviembre	26	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Diciembre	7	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Enero	14	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Febrero	21	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Marzo	28	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Abril	3	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Mayo	10	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Junio	17	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.
Julio	24	07:00 a.m.	10:00 a.m.	01:00 p.m.	05:00 p.m.	09:00 p.m.

Fuente: Investigador

Los datos meteorológicos necesarios para la recolección de la muestra son:

- Variaciones diurnas: Variaciones a lo largo del día.
- Variaciones estacionales: Promedios mensuales de velocidad, para la determinación del mes crítico (mes de menores vientos).
- Velocidad de viento promedio anual: Primera indicación de viabilidad de un proyecto eólico.

## Variaciones diurnas

Se expresan los siguientes valores históricos con respecto al año 2010 y 2011, según datos registrados en la estación meteorológica 802100.

Tabla 15. Variaciones diurnas

HORA	Meses											
	ago-19	sep-26	oct-07	nov-14	dic-21	ene-28	feb-03	mar-10	abr-17	may-24	jun-05	jul-12
7:00	8,1	7	6,2	5,1	5,2	4,9	4,6	4,1	4,3	5,8	5,3	6,5
10:00	8,8	7,2	6,8	5,5	5,6	5,7	4,7	4,3	4,9	6,1	5,8	7,6
13:00	9	7,8	7,1	5,9	6,4	4,7	5,2	5,3	4,8	6,2	6,1	8
17:00	8,1	7,7	6,5	5,9	4,9	4,6	4,4	4,4	4,4	4,7	5,4	7
21:00	7,6	7,3	7,1	6,2	4,7	4,4	4,2	4,7	4,1	4,6	5,1	7,1

Fuente: Alpred S.L.

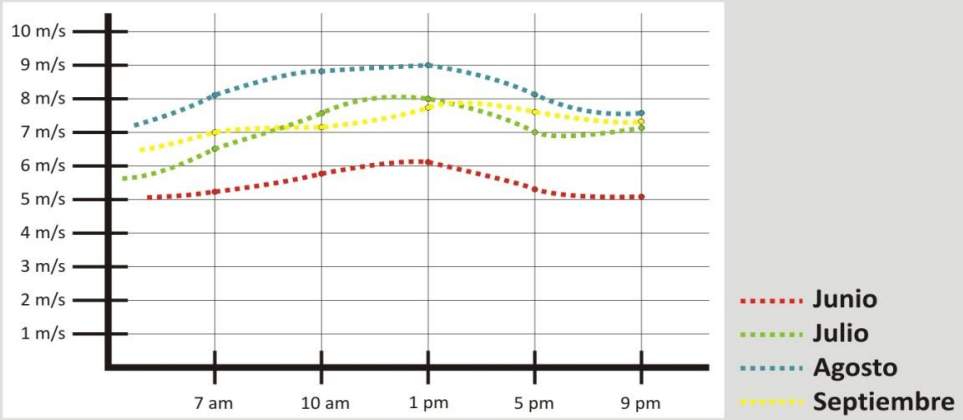
Nótese que el mes donde más vientos se presentan es en agosto. Seguido de él, en orden descendente están julio, septiembre, octubre, diciembre, mayo, junio, noviembre, marzo, febrero, abril y finalmente, el mes de enero. También se puede observar que en la variación a lo largo del día, la hora en la que los vientos son más fuertes, es a la 1:00 pm. La hora de la mañana es el lapso de tiempo donde el viento corre con menor velocidad.

## Variaciones estacionales

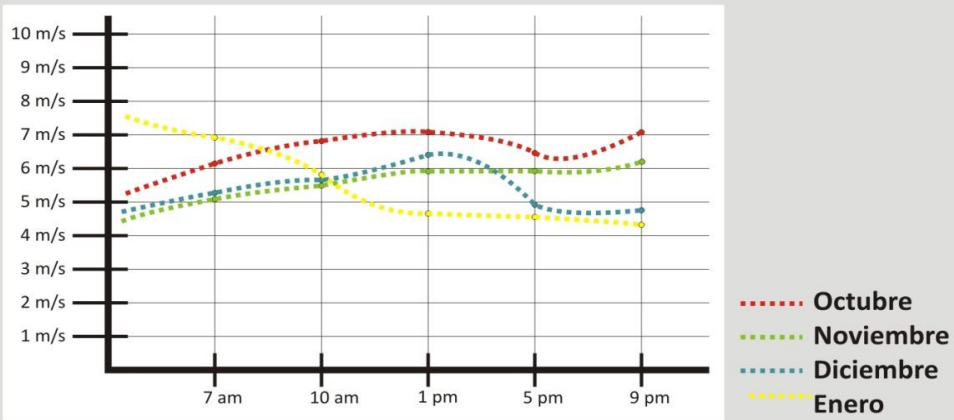
Se toman cuatro meses para el análisis comparativo de velocidades alcanzadas por hora mensual, así:

Ilustración 14. Variaciones estacionales

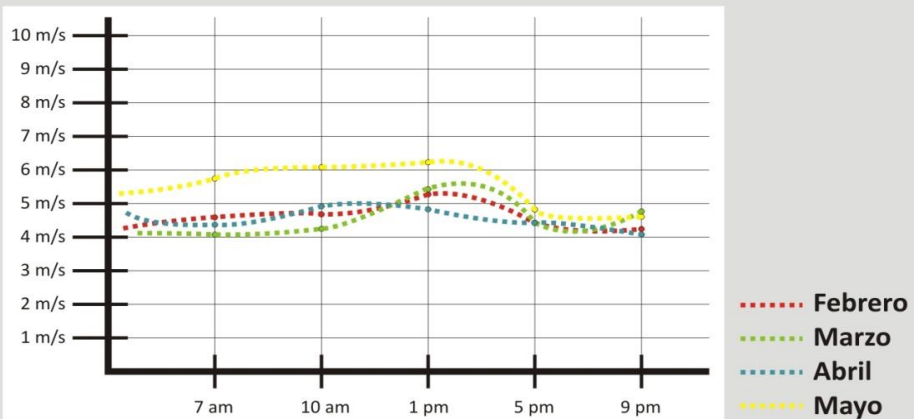
### Variación Estacional 1



### Variación Estacional 2



### Variación Estacional 3

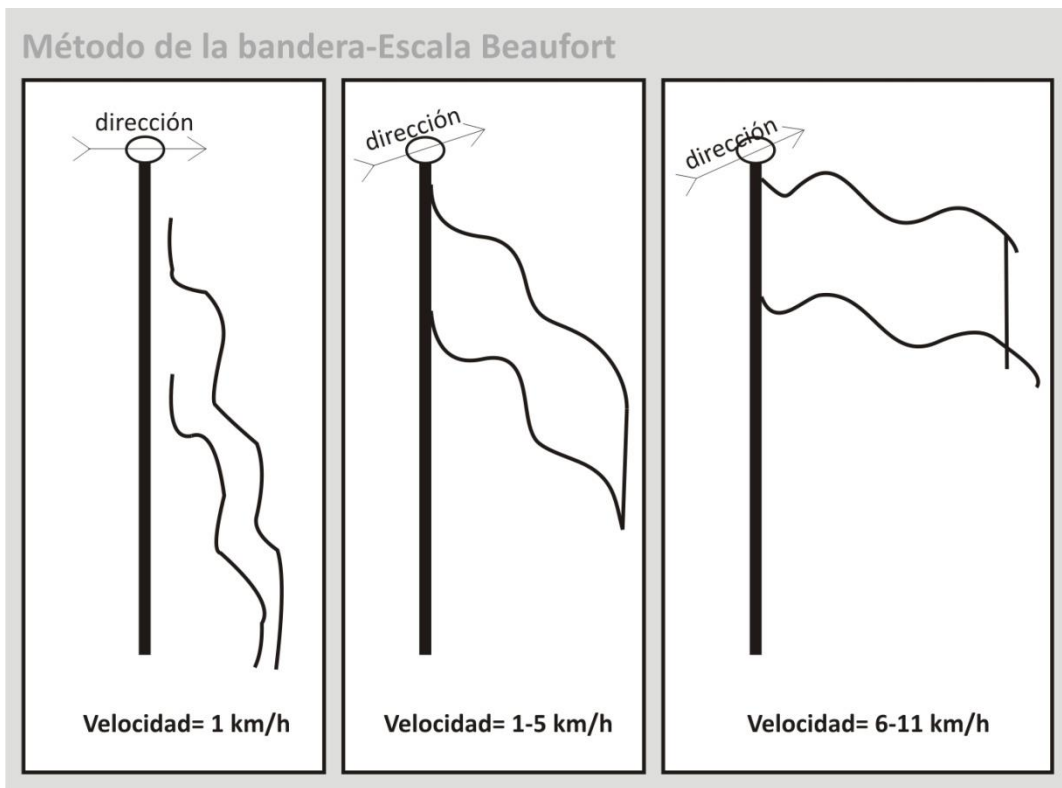


Fuente: Investigador

## Dirección de viento

Para identificar la dirección del viento, se utiliza el método de la bandera, expresado a continuación:

Ilustración 15. Método de la bandera



Fuente: Investigador

Se realiza un muestreo durante doce meses, colocando la bandera en el mismo punto en el lote, tomando como referencia para la toma de datos, el horario utilizado en la recolección de información de velocidad de viento. Tomando datos de dirección de la bandera en los siguientes horarios y con los siguientes resultados:

Tabla 16. Muestreo método de la bandera

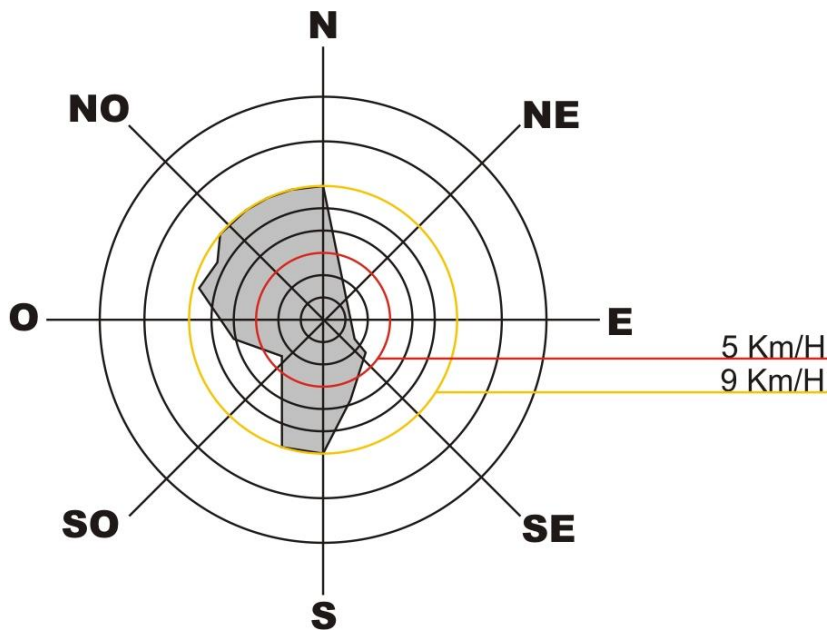
HORA	ago-19	sep-26	oct-07	nov-14	dic-21	ene-28	feb-03	mar-10	abr-17	may-24	jun-05	jul-12
7	S	S	N.O	S	S.E	N.O	N.O	N.O	N	N.O	N.O	N
10	N	N.O	N.O	O	N	N	N.O	O	N.O	N.O	S	O
13	N.O	N	N.O	N.O	N.O	S	N.O	N	N.O	N.O	N.O	N.O
17	S	N	N.O	N.O	S	N.O	N	S	N	N.O	5,4	N.O
21	O	N	N.O	N.O	O	S.O	O	N.O	S.O	N.O	N.O	N

Fuente: Investigador

La bandera indica que la dirección predominante en el muestreo durante los doce meses del año, es la Nor-Oeste, seguida de la dirección Norte, en tercer lugar la dirección sur, luego la Sur-Oeste y por último la Sur-Este.

### Velocidad promedio anual

Ilustración 16. Variación promedio anual. Rosa de los vientos



Fuente: Investigador

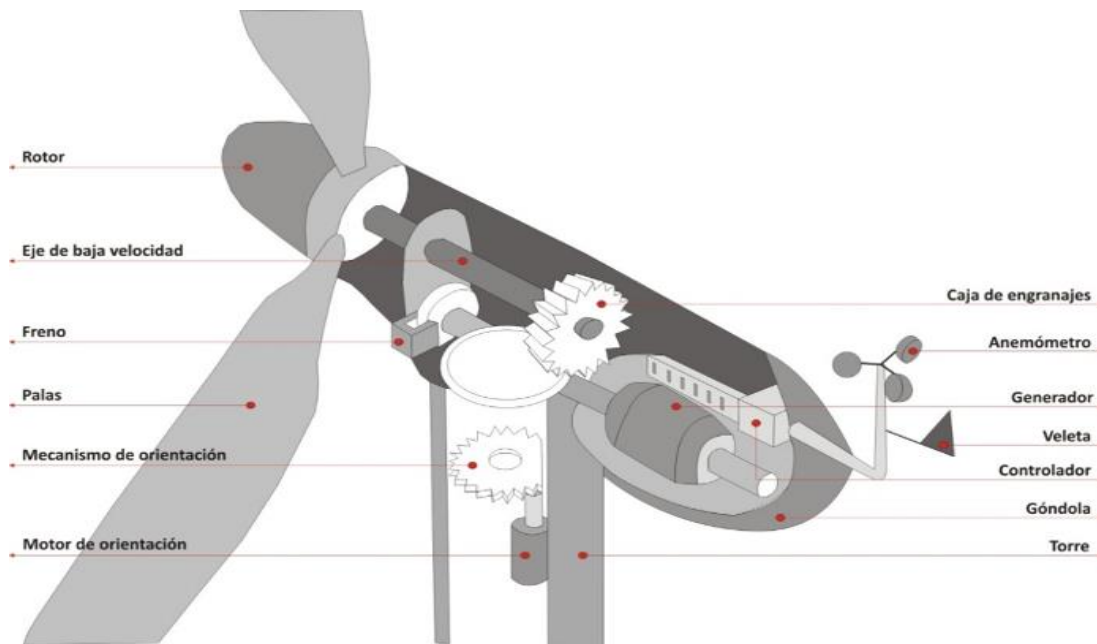
Esta rosa de vientos compila toda la información recogida en un solo gráfico, de modo que su lectura evidencia que la disponibilidad de vientos analizados en el lugar es bastante significativa.

## SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

### Turbina eólica

El dispositivo que se utiliza para el aprovechamiento de la energía del viento y su conversión a energía eléctrica, se llama turbina eólica o aerogenerador.

Ilustración 17. Componentes turbina eólica



**Rotor:** Elemento principal de una máquina eólica. Transforma la energía cinética del viento en mecánica utilizable.

**Tren de potencia o conversión mecánica:** Compuesto por el eje de velocidad baja, la caja de cambios de velocidad, el eje de velocidad alta y las balineras o cojinetes que soportan los ejes.

**Freno:** Mecanismo que hace parar el sistema en momentos que alcanza velocidad de abatimiento (viento muy fuerte) o por orden directa de quien controla el sistema.

**Palas:** Elementos diseñados bajo criterios aerodinámicos que reciben directamente el viento y giran en el eje, produciendo energía rotacional.

**Mecanismo y motor de orientación:** Componente que detecta la dirección del viento para orientar el rotor en este sentido. Compuesto por cojinete, motor eléctrico, sensor y freno.

**Caja de engranajes:** Dependiendo del modelo de turbina, se utilizan. Transmite la potencia al interior de la turbina.

**Anemómetro:** Elemento que mide la velocidad del viento.

**Generador:** Es el Sistema eléctrico. Transforma la energía mecánica en eléctrica. También hace parte de este sistema, la conectividad a las demás aplicaciones.

**Veleta:** Evidencia la dirección de procedencia del viento predominante.

**Controlador:** Posee ordenadores que supervisan el funcionamiento interno de la turbina.

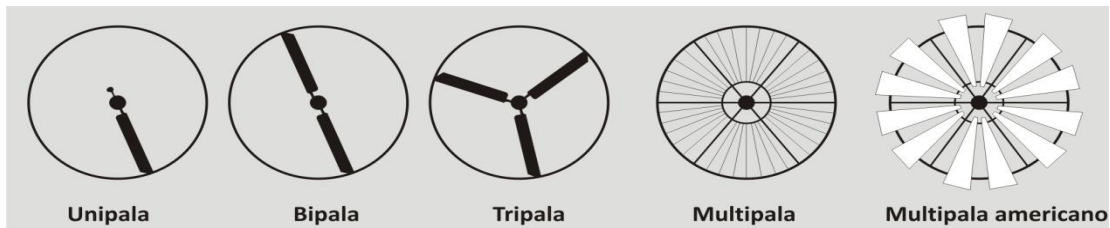
**Góndola:** Contenedor de los elementos mencionados anteriormente.

**Torre:** Para localizar una turbina eólica, esta se debe situar sobre una estructura de soporte cuya altura sea suficiente para soportar las cargas. A mayor altura, mayor velocidad de viento.

## Tipología de turbina eólica

Existen dos tipos de turbina eólica. De eje horizontal y de eje vertical. Los sistemas de conversión de energía eólica de eje horizontal (SCEH) se subdividen en sistemas de baja y alta velocidad, con mayor o menor número de aspas respectivamente, así:

Ilustración 18. Sistema de conversión eólica eje horizontal (SCEH)

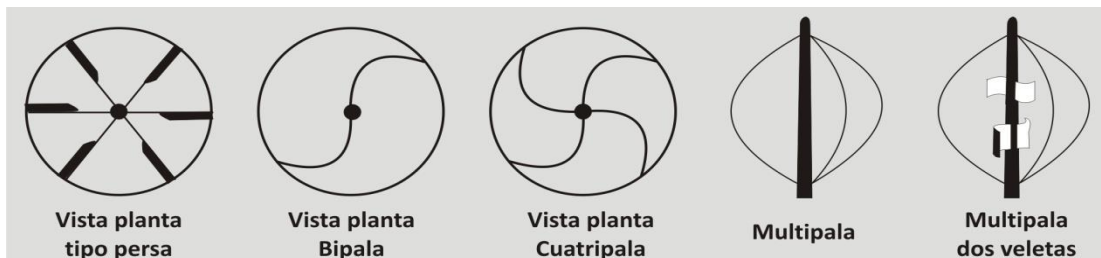


Extracción de energía del viento, energía cinética, en las palas se traduce a energía rotacional y finalmente, el aerogenerador la convierte en energía eléctrica.

*Fuente: Wind Turbine Star*

Por otro lado, los sistemas de conversión de energía eólica de eje vertical (SCEV) se subdividen de forma similar a los anteriores, de acuerdo con el número de aspas, así:

Ilustración 19. Sistemas de conversión eólica eje vertical (SCEV)



Operación de la fuerza de arrastre sobre las superficies. Principio de sustentación para hacer posible la extracción de energía.

*Fuente: Wind Turbine Star*



Existe un número de oferentes que distribuyen estos dos tipos de turbinas en el mundo, de los cuales algunos representantes se pueden encontrar a nivel nacional.

La productividad de las turbinas eólicas varía, hallando aerogeneradores de pequeña escala que pueden producir desde 500 watts hasta 6 kW.h, aptos para cubrir un abastecimiento específico; de mediana escala que pueden producir desde 10 kW.h hasta 50 kW.h, generando mayor abastecimiento energético; hasta llegar a turbinas eólicas de gran escala, especialmente utilizadas en parques eólicos de gran envergadura.

Para el desarrollo de este estudio se presentan las características técnicas de algunas turbinas eólicas de mediana escala.

Se eligen este tipo de turbinas para la investigación, debido a que las turbinas de pequeña y gran escala se pueden llegar a convertir en un problema paisajístico; en el caso de las pequeñas, se requerirían muchas para generar una cantidad de energía considerable y en el caso de las grandes, ser implantadas en un entorno urbano no sería lo más conveniente debido a su gran envergadura, ya que generarían un impacto negativo.

**Tabla 17. Especificaciones turbinas de mediana escala**

	TURBINA DE EJE HORIZONTAL			TURBINA DE EJE HORIZONTAL			TURBINA DE EJE HORIZONTAL	
	Producción	10 Kw/H		Producción	30 Kw/H		Producción	50 Kw/H
	Velocidad viento mínima	3 m/s		Velocidad viento mínima	3 m/s		Velocidad viento mínima	3 m/s
	Velocidad viento máxima	45 m/s		Velocidad viento máxima	50 m/s		Velocidad viento máxima	50 m/s
	Tamaño	8 m ancho		Tamaño	12.5m ancho		Tamaño	18 m ancho
Peso neto	420 Kg	Peso neto	1.380 Kg	Peso neto	3.120 Kg			

*Fuente: Wind Turbine Star*

## **ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO**

Esta estimación de potencial eólico se realiza a partir del análisis de la información de las velocidades de viento registradas en el estudio del lote ubicado en la zona de expansión sur del municipio de Pereira en el capítulo anterior, durante un período de 360 días (8.640 horas) entre el mes de Agosto del año 2010 y el mes de Julio del año 2011.

Inicialmente se clasifican los datos de velocidades por hora en secciones, dividiendo el rango de variación de velocidades por 1 m/s. Este método es conocido como *distribución de frecuencia de vientos*. Primero se compila la velocidad de viento por meses para calcular los datos anuales por hora que se recolectaron y de este modo se establece cuál es la velocidad de viento y durante cuántas horas (de las 8.640 horas que componen 360 días), se presenta la velocidad.

Tabla 18. Velocidad de viento mensual por hora

Agosto			AGOSTO		Diciembre			DICIEMBRE		Abril			ABRIL	
8-9 m/s	4 am - 10 am	180 horas			5-6 m/s	4 am - 10 am	180 horas			4-5 m/s	4 am - 10 am	180 horas		
8-9 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	7-8 m/s	210 horas	5-6 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	4-5 m/s	330 horas	4-5 m/s	10 am - 1 pm	90 horas		
9-10 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	8-9 m/s	390 horas	6-7 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	5-6 m/s	270 horas	4-5 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	4-5 m/s	720 horas
8-9 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas	9-10 m/s	120 horas	4-5 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas	6-7 m/s	120 horas	4-5 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas		
7-8 m/s	9 pm - 4 am	210 horas			4-5 m/s	9 pm - 4 am	210 horas			4-5 m/s	9 pm - 4 am	210 horas		
Septiembre			SEPTIEMBRE		Enero			ENERO		Mayo			MAYO	
7-8 m/s	4 am - 10 am	180 horas			4-5 m/s	4 am - 10 am	180 horas			5-6 m/s	4 am - 10 am	180 horas		
7-8 m/s	10 am - 1 pm	90 horas			5-6 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	4-5 m/s	630 horas	6-7 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	4-5 m/s	330 horas
7-8 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	7-8 m/s	720 horas	4-5 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	5-6 m/s	90 horas	6-7 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	5-6 m/s	180 horas
7-8 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas			4-5 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas			4-5 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas	6-7 m/s	210 horas
7-8 m/s	9 pm - 4 am	210 horas			4-5 m/s	9 pm - 4 am	210 horas			4-5 m/s	9 pm - 4 am	210 horas		
Octubre			OCTUBRE		Febrero			FEBRERO		Junio			JUNIO	
6-7 m/s	4 am - 10 am	180 horas			4-5 m/s	4 am - 10 am	180 horas			4-5 m/s	4 am - 10 am	180 horas		
6-7 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	6-7 m/s	390 horas	4-5 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	4-5 m/s	600 horas	5-6 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	4-5 m/s	180 horas
7-8 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	7-8 m/s	330 horas	5-6 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	5-6 m/s	120 horas	6-7 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	5-6 m/s	420 horas
6-7 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas			4-5 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas			5-6 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas	6-7 m/s	120 horas
7-8 m/s	9 pm - 4 am	210 horas			4-5 m/s	9 pm - 4 am	210 horas			5-6 m/s	9 pm - 4 am	210 horas		
Noviembre			NOVIEMBRE		Marzo			MARZO		Julio			JULIO	
5-6 m/s	4 am - 10 am	180 horas			4-5 m/s	4 am - 10 am	180 horas			6-7 m/s	4 am - 10 am	180 horas		
5-6 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	5-6 m/s	510 horas	4-5 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	4-5 m/s	600 horas	7-8 m/s	10 am - 1 pm	90 horas	6-7 m/s	180 horas
5-6 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	6-7 m/s	210 horas	5-6 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	5-6 m/s	120 horas	8-9 m/s	1 pm - 5 pm	120 horas	7-8 m/s	420 horas
5-6 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas			4-5 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas			7-8 m/s	5 pm - 9 pm	120 horas	8-9 m/s	120 horas
6-7 m/s	9 pm - 4 am	210 horas			4-5 m/s	9 pm - 4 am	210 horas			7-8 m/s	9 pm - 4 am	210 horas		

Fuente: Investigador

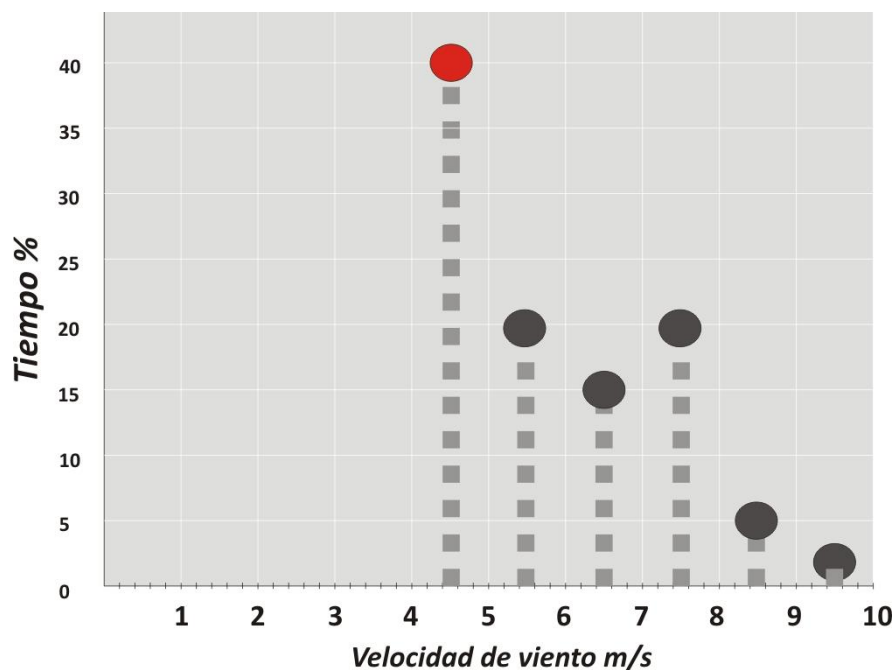
Una vez obtenidos los datos mensuales, a continuación se compila la información anual por velocidad de viento, esto se denomina *distribución de frecuencias*, en este caso para 360 días (nominal: 30 días mensuales), es decir un total de 8.640 horas.

Tabla 19. Distribución de frecuencias. 360 días de información

Intervalo	Horas 360 días 8.640 Horas	Porcentaje % en tiempo
4-5 m/s	3390	39,24
5-6 m/s	1710	19,79
6-7 m/s	1230	14,24
7-8 m/s	1680	19,44
8-9 m/s	510	5,90
9-10 m/s	120	1,39

Fuente: Investigador

Ilustración 20. Distribución de frecuencia. 360 días de información



Fuente: Investigador

Para el período de medida de 8.640 horas (1 año) la velocidad promedio de viento, tal y como se observa en la ilustración anterior es de 6,2 m/s a 10 m de altura.

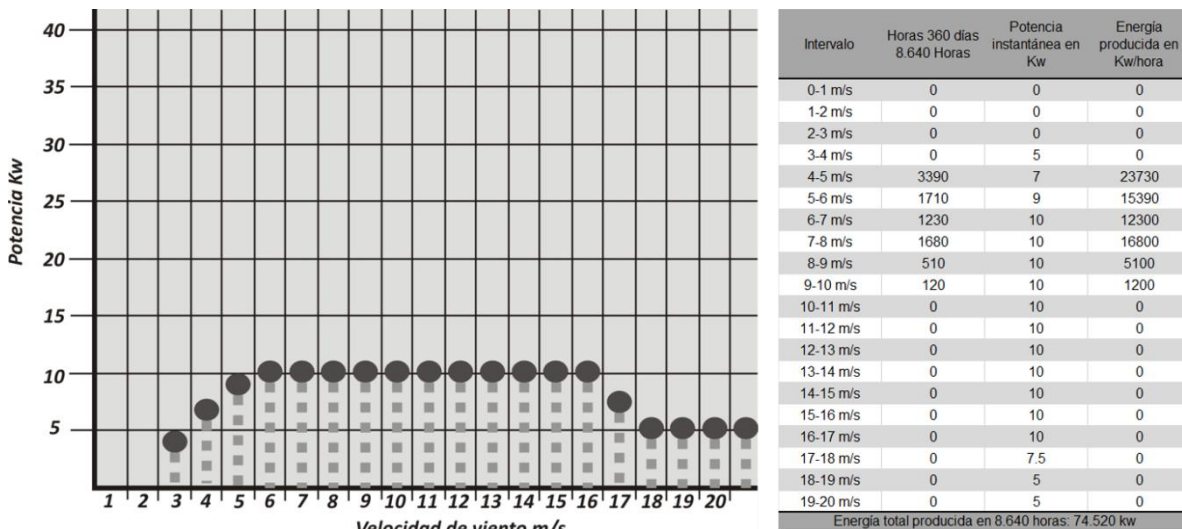
Una vez obtenida la información de distribución de vientos, se necesita la curva de potencia de los aerogeneradores para estimar la producción de energía en el período de 8.640 horas.

El estimativo de energía producido por el aerogenerador para el período de análisis de 8.640 horas, correspondientes a un año, se realiza multiplicando la potencia del equipo elegido, representada en la ilustración anterior, por el número de horas en cada intervalo, calculadas en las tablas que se presentan a continuación para cada uno de los tres casos de estudio, mostrando que los requerimientos de los aerogeneradores encajan con los vientos registrados en el lugar.

## Curva de potencia Aeolo 10 kW.h

El equipo Aeolo H10- kW.h tiene un estimado de producción de su potencia nominal de 10 kW.h cuando el viento alcanza la velocidad de 6 m/s. La velocidad de viento de arranque es de 3 m/s y alcanza una potencia inicial de 5 kW.h y la velocidad de abatimiento<sup>1</sup> se estima en los 17 m/s de velocidad de viento para comenzar con una generación constante de energía de 7,5 kW.h.

Tabla 20. Características técnicas y productividad energética aerogenerador de 10 kW.h



Fuente: Investigador

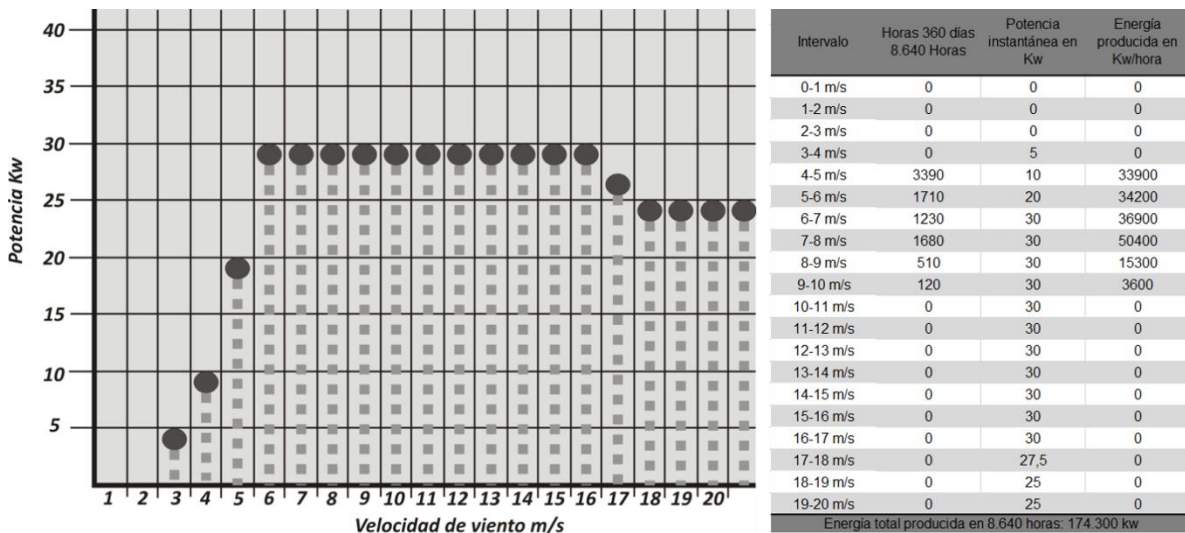
La energía total producida para el caso de estudio dio como resultado una potencia producida total de 74.520 kW.h.

<sup>1</sup> **Velocidad de abatimiento:** Velocidad de viento muy alta, donde la turbina eólica se obliga a parar por razones de seguridad.

## Curva de potencia Aeolo 30 kW.h

El equipo Aeolo H30- kW.h tiene un estimado de producción de su potencia nominal de 30 kW.h cuando el viento alcanza la velocidad de 6 m/s. La velocidad de viento de arranque es de 3 m/s y alcanza una potencia inicial de 5 kW.h y la velocidad de abatimiento se estima en los 17 m/s de velocidad de viento para comenzar con una generación constante de energía de 27,5 kW.h

Tabla 21. Características técnicas y productividad energética aerogenerador de 30 kWh



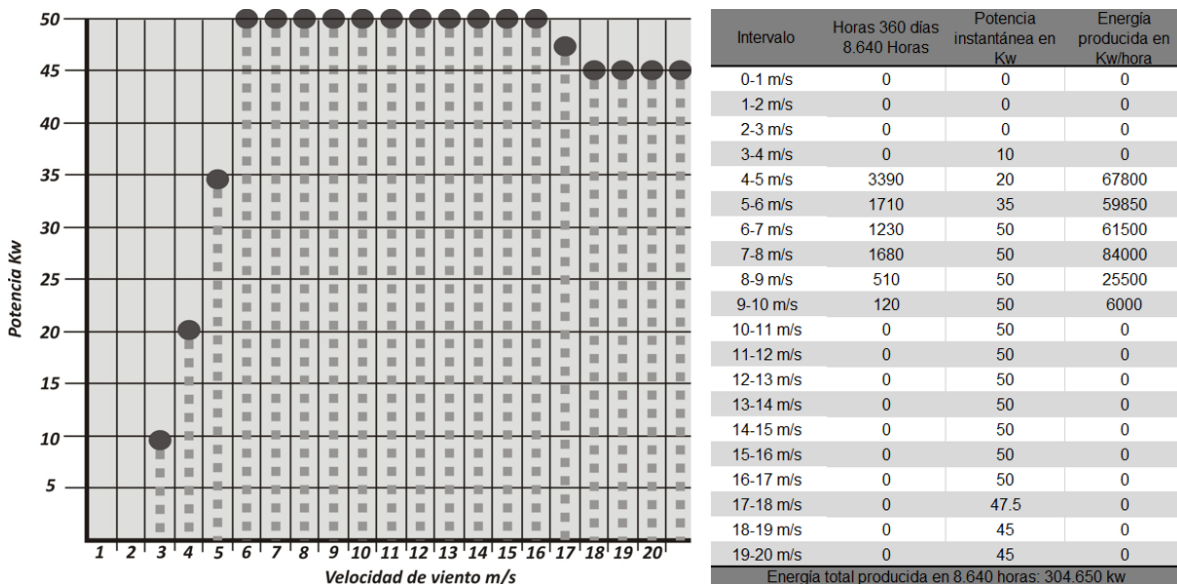
Fuente: Investigador

El estimado de energía producido por el aerogenerador para el período de análisis de 8.640 horas dio como resultado una potencia producida total de 174.300 kW.h.

## Curva de potencia Aeolo 50 kWh

El equipo Aeolo H50- kW.h tiene un estimado de producción de su potencia nominal de 50 kW.h cuando el viento alcanza la velocidad de 6 m/s. La velocidad de viento de arranque es de 3 m/s y alcanza una potencia inicial de 10 kW.h y la velocidad de abatimiento se estima en los 17 m/s de velocidad de viento para comenzar con una generación constante de energía de 45 kW.h.

Tabla 22. Características técnicas y productividad energética aerogenerador de 50 kWh



Fuente: Investigador

Este aerogenerador tiene un estimado de energía producido para el período de análisis de 8.640 horas de 304.650 kW.h.

## ANÁLISIS FINANCIERO

### Costo financiero

La incorporación de la oferta energética de las fuentes renovables ha estado y estará condicionada en un mercado libre por la exigencia de una rentabilidad directa lo suficientemente alta para que el inversionista cambie su modelo de abastecimiento (LECUONA, 2002). Debido a ello, la ejecución de proyectos de desarrollo de energía eólica apenas está dando sus primeros pasos en Colombia, inicialmente con un valor añadido para el inversionista basado en hechos medioambientales.

**Inversión inicial:** Costo de los aerogeneradores. El costo de las turbinas analizadas, Wind Turbine 10 kW.h, es de \$ 12.854 dólares, Wind Turbine 30 kW.h, es de \$ 30.854 dólares. Wind Turbine 50 kW.h, es de \$ 75.854 dólares incluyendo el precio de garantía extendida de 5 años más<sup>2</sup>.

Tabla 23. Precio de las turbinas analizadas

WIND TURBINE				
	PRECIO NETO	GARANTIA	PRECIO TOTAL	PRECIO COP
	USD	EXTENDIDA	USD	
<b>10 KW</b>	12,000.00	854.00	12,854.00	\$29'628,470.00
<b>30 KW</b>	30,000.00	854.00	30,854.00	\$71'118,470.00
<b>50 KW</b>	75,000.00	854.00	75,854.00	\$174'843,470.00

*Fuente: Cifras promedio del mercado actual*

Se calcula un precio del dólar sobre el nivel de resistencia más alto calculado en el 2014 con proyección al 2015, con un precio de \$2.350 por dólar (Banco de la República).

---

<sup>2</sup> Garantía total: 10 años la cual cubre las turbinas, controladores y torres contra defectos de diseño, material o instalación bajo uso normal. Durante el tiempo de garantía, el proveedor reemplazará partes cubriendo incluso los gastos de transporte.

**Otros costos:** Incluyen la infraestructura civil y eléctrica, el montaje, la gestión y la administración. Suman alrededor del 25% del costo de los aerogeneradores.

**Costos operativos:** La operación y mantenimiento de la infraestructura equivalen alrededor del 1,5% de la inversión inicial y los seguros alrededor del 1%.

Tabla 24. Costeo total proyecto eólico por turbina

COSTOS TOTALES				
	INVERSION INICIAL	OTROS COSTOS	COSTOS OPERATIVOS	TOTAL
10 KW	\$29'628,470.00	\$7,407,117	\$740,711	\$37'776,298
30 KW	\$71'118,470.00	\$17'779,617	\$1'777,961	\$90'676,048
50 KW	\$174'843,470.00	\$43'710,867	\$4'371,086	\$222'925,423

Fuente: Promedio costos ENEL y Vattenfall

### Tiempo de retorno energético económico

Este cálculo depende directamente de las tarifas manejadas por la Empresa de Energía de Pereira (EEP). El cálculo considera la cantidad de energía que deja de consumirse de la red convencional y su costo monetario, de modo que sea evidente el tiempo de repago de la inversión inicial de los equipos. Otra variable importante a tener en cuenta para este análisis es el costo y la vida útil de las turbinas estudiadas.

La tarifa actual de EEP para el sector residencial en estrato 1, 2, 3 y 4 es de \$339,16 kW.h, en estrato 5 y 6 es de \$406,99 kW.h, en el sector industrial y comercial es de \$406,99 kW.h y en el sector oficial y especial es de \$339,16 kW.h.

Tabla 25. Tabla de costos EEP a noviembre de 2014

TARIFAS ENERGIAS RESIDENCIALES MONOMIAS - PEREIRA							
Resolución CREG No. 097/2008							
Res No. 058/08- 151/2012 - Cargo por Uso y Opciones Tarifarias							
ESTRATO	Nivel I Particular (100%)		CONCEPTO	Nivel I EEP (0%)	Nivel I Compartida (50%)	Nivel I Particular (100%)	
	0-130 kwh	> a 130 kwh		Monomía	Monomía	Monomía	
1 (Bajo-Bajo)	143.86	339.16	DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA NIVEL I	INDUSTRIAL	443.92	425.45	406.99
2 (Bajo)	179.82	339.16		COMERCIAL	443.92	425.45	406.99
3 (Medio - Bajo)	288.28	339.16		OFICIAL	369.93	354.54	339.16
				ESPECIAL	369.93	354.54	339.16
4 (Medio)	Todo Consumo	339.16		PROVISIONAL	443.92	425.45	406.99
5 (Medio Alto)	Todo Consumo	406.99					
6 (Alto)	Todo Consumo	406.99					

Fuente: Empresa de Energía de Pereira EEP

De acuerdo al boletín anual entregado por UPME, la evolución de consumo por sectores en el año 2014 para el municipio de Pereira finaliza con unos porcentajes de participación donde el sector residencial continúa a la cabeza con un 51%. Cruzando estos porcentajes con el consumo total anual que se ubicó en 460,2 GWh con las tarifas actuales, se obtiene un valor consumido total por cada sector.

Tabla 26. Consumo de energía anual en Pereira

	CONSUMO POR SECTOR	TARIFA 2014	CONSUMO GWH	CONSUMO KWH	VALOR CONSUMIDO
TOTAL	100%	-	460.2	460200000	\$ 167,943,271,080.00
RESIDENCIAL	51%	\$ 339.16	234.702	234702000	\$ 79,601,530,320.00
COMERCIAL	22.0%	\$ 406.99	101.244	101244000	\$ 41,205,295,560.00
OFICIAL	5.0%	\$ 339.16	23.01	23010000	\$ 7,804,071,600.00
INDUSTRIAL	16%	\$ 406.99	73.632	73632000	\$ 29,967,487,680.00
OTROS	6%	\$ 339.16	27.612	27612000	\$ 9,364,885,920.00

Fuente: UPME – Tarifas EEP

Luego este resultado se enfrenta con la producción anual de cada uno de los tres aerogeneradores y se calcula el porcentaje que representa dicha producción frente al consumo total. La producción de cada equipo se cruza con las tarifas por sector y se obtiene como resultado el costo que tendría el uso de energía eólica durante un año, respondiendo a las mismas tarifas de la red convencional. Finalmente, el valor de la turbina se divide con la cifra anterior para obtener el tiempo de retorno de la inversión en años.

Tabla 27. Tiempo de retorno energético económico

	<b>TURBINA DE 10</b>		<b>VALOR EQUIPO EÓLICO \$37' 776.298</b>	
	<b>PRODUCCION ANUAL KW</b>	<b>% RESPECTO AL CONSUMIDO</b>	<b>CONSUMO EN \$ ANUAL</b>	<b>RETORNO INVERSION EN AÑOS</b>
<b>RESIDENCIAL</b>	74520	0.03	\$ 25,274,203.20	1.49
<b>COMERCIAL</b>	74520	0.07	\$ 30,328,894.80	1.25
<b>OFICIAL</b>	74520	0.32	\$ 25,274,203.20	1.49
<b>INDUSTRIAL</b>	74520	0.10	\$ 30,328,894.80	1.25
<b>OTROS</b>	74520	0.27	\$ 25,274,203.20	1.49
	<b>TURBINA DE 30</b>		<b>VALOR EQUIPO EÓLICO \$90' 676.048</b>	
	<b>PRODUCCION ANUAL KW</b>	<b>% RESPECTO AL CONSUMIDO</b>	<b>CONSUMO EN \$ ANUAL</b>	<b>RETORNO INVERSION EN AÑOS</b>
<b>RESIDENCIAL</b>	174300	0.07	\$ 59,115,588.00	1.53
<b>COMERCIAL</b>	174300	0.17	\$ 70,938,357.00	1.28
<b>OFICIAL</b>	174300	0.76	\$ 59,115,588.00	1.53
<b>INDUSTRIAL</b>	174300	0.24	\$ 70,938,357.00	1.28
<b>OTROS</b>	174300	0.63	\$ 59,115,588.00	1.53
	<b>TURBINA DE 50</b>		<b>VALOR EQUIPO EÓLICO \$222' 925.423</b>	
	<b>PRODUCCION ANUAL KW</b>	<b>% RESPECTO AL CONSUMIDO</b>	<b>CONSUMO EN \$ ANUAL</b>	<b>RETORNO INVERSION EN AÑOS</b>
<b>RESIDENCIAL</b>	304650	0.13	\$ 103,325,094.00	2.16
<b>COMERCIAL</b>	304650	0.30	\$ 123,989,503.50	1.80
<b>OFICIAL</b>	304650	1.32	\$ 103,325,094.00	2.16
<b>INDUSTRIAL</b>	304650	0.41	\$ 123,989,503.50	1.80
<b>OTROS</b>	304650	1.10	\$ 103,325,094.00	2.16

Fuente: Investigador

En este análisis solo se está considerando como medio de pago la tarifa actual de la red de energía convencional de la ciudad. Estos resultados evidencian la viabilidad financiera de cualquiera de las tres turbinas analizadas, puesto que un horizonte de amortización en promedio de dos años como los observados, es muy positivo teniendo en cuenta que la vida útil de esta tecnología es de 30 años.

## CONCLUSIONES

- Como resultado de la investigación, se puede concluir que a pesar de que la energía hidroeléctrica se conoce hoy en día como una energía limpia, la huella de carbono generada por la energía eólica es 13 veces menor, adicional a ello, no se presentan los demás efectos negativos ambientales y sociales vinculados a toda la cadena de producción y distribución de energía hidroeléctrica, de modo que la eólica merece ser tomada en cuenta como una tecnología con importantes ventajas con respecto a la matriz predominante colombiana.
- Se comprueba el potencial eólico del lugar de estudio, área destinada a ser urbanizada, que no posee obstáculos físicos significativos en su entorno, lo que potencia la captación directa de vientos y su disponibilidad constante, y que además no interfiere con los corredores de aves del municipio, cumpliendo de este modo con una condición fundamental para la implementación de aerogeneradores. Además, se comprueba su viabilidad técnica, ya que el estudio de vientos arroja velocidades entre 4,1 m/s y 9 m/s, bastante significativas para el funcionamiento de turbinas de mediana escala que requieren una velocidad de arranque de 3 m/s en promedio y para su óptimo rendimiento 6 m/s.
- Se concluye que, técnicamente, la implementación de cualquiera de los tres aerogeneradores analizados es viable puesto que requieren una velocidad de viento de 6 m/s para desarrollar su potencia nominal de 10, 30 y 50 kW.h respectivamente.
- El estimativo de producción de energía indica que para las 8.640 horas del año, el aerogenerador de 10 kW.h llega a generar 74.520 kW.h, con lo que se podría abastecer el consumo total anual de 23 viviendas, el de 30 kW.h

generaría 174.300 kW.h, que correspondería al consumo de 55 viviendas y por último el aerogenerador de 50 kW.h, alrededor de 304.650 kW.h, con lo que se abastecerían 95 viviendas<sup>3</sup>.

- Finalmente, el tiempo de retorno energético económico muestra un horizonte de amortización mínimo de 15 meses en el caso del aerogenerador de 30 kW.h en el sector comercial e industrial, y máximo de 26 meses para el caso del aerogenerador de 50 kW.h en el sector residencial y oficial, evidenciando la viabilidad financiera de la implementación de aerogeneradores para la producción de energía en el municipio de Pereira.

---

<sup>3</sup> Promedio de consumo energético anual de una vivienda: 3.192 kWh. Tomado de periódico El Tiempo

## RECOMENDACIONES

Durante el proceso de la presente investigación se realizaron encuestas a constructores de la región, pertenecientes a diez empresas constructoras, específicamente del sector residencial, realizando preguntas cerradas que pretenden analizar el posible conocimiento en la temática de construcción con principios de sostenibilidad. De ser válido su conocimiento en este campo, se comprenden las expectativas de aplicabilidad en sus proyectos futuros, de lo contrario, se reconoce su interés en saber más del tema y su disposición para la aplicación de estos principios en sus proyectos (Anexo 1). Se obtienen los siguientes resultados:

El 80% de las empresas encuestadas desconocen el tema de sostenibilidad.

El 70% de los encuestados, aunque lo desconocen, una vez se realiza una introducción al mismo y una breve reseña de la relación costo/beneficio en la implementación de estos principios, se muestran interesados en el tema para su aplicación en futuros proyectos.

Solo el 20% de la población encuestada conoce el tema pero no lo aplican actualmente en los proyectos que están ejecutando, aunque del mismo modo expresan su interés para la posterior aplicación de sostenibilidad en proyectos futuros.

En conclusión, en la actualidad no se está desarrollando ningún proyecto de construcción con condiciones de sostenibilidad ambiental, aunque el 100% de las empresas encuestadas demuestran su interés de aplicar estos principios en los proyectos a ejecutar en el futuro.

Cabe resaltar este tipo de intereses puesto que la implementación de la tecnología eólica se presenta como una oportunidad para desarrollar una generación eléctrica distribuida (GED), modelo donde los consumidores habituales de la empresa de

energía se convierten en productores de energía, de modo que el esquema socioeconómico cambiaría, descentralizando el proceso del sistema eléctrico convencional, diversificando los recursos y aumentando significativamente la autosuficiencia del municipio (DIOLETTAS, 2013).

La viabilidad técnica y financiera que arroja la investigación es significativa para la evolución de la canasta energética Pereirana, de modo que es conveniente profundizar en la aplicabilidad de esta tecnología específicamente en cada sector económico y de esta manera hallar estrategias particulares que posibiliten la ejecución de proyectos de esta índole.

Si bien la presente investigación abordó la temática de la viabilidad técnica y financiera de esta tecnología, en futuras investigaciones un interesante tema a tratar sería cómo esta alternativa energética podría ganar más espacio en un mercado dominado por la producción hidroeléctrica en Colombia y específicamente en Pereira.

Este modelo de mercado, representa una barrera para la implementación de Energía Eólica como alternativa de abastecimiento eléctrico, puesto que la cobertura eléctrica en el Municipio de Pereira se sitúa en el 99,23%. De modo que la introducción al mercado de la tecnología eólica no puede ser soportada en cubrir un déficit de abastecimiento energético, por el contrario, se introduce como soporte alternativo amigable con el medio ambiente, en un momento donde la sociedad está buscando nuevas alternativas para reducir la emisión de gases desde la fuente.

Aun así, según el boletín de mercado inmobiliario del primer semestre de 2010, se realizaron 1.001 instalaciones en el Municipio de Pereira, registrándose un aumento con respecto al año anterior. Residencial: 73,83% del total, Comercial: 24,88%, incrementando un 16% aproximadamente con respecto al II semestre de 2008. Estas cifras muestran la cobertura, alcance y constante crecimiento de la energía convencional (hidroeléctrica).

Países como Brasil, pionero a nivel latinoamericano en producción de energía eólica, han adoptado estrategias como la regulación introducida en el año 2012 referente a la generación de potencia distribuida de modo que se incentiven las empresas generadoras a incorporar dentro de su oferta la energía renovable. *Programa de medición neto en donde las empresas deben instalar cualquiera de dos tipos de generadores aprobados de pequeña escala, en capacidades menores de 1 MW.h. Estos generadores proporcionarían energía sin costo (no incluidos costos de instalación) para el negocio, y se proporcionarían créditos (en kW.h) para el productor si la potencia generada supera la potencia consumida. Si se consume más energía, la empresa sólo pagaría por la electricidad que supera la capacidad del generador (ANEEL, 2012).*

La conclusión señala un camino, abarcar el mercado de construcción nueva, para la aplicación de tecnologías como la eólica que además de representar una disminución de emisiones nocivas, representa ahorro energético y económico a mediano y largo plazo.

## ANEXO 1. Encuesta a constructoras

### ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

### ENCUESTADO

**Constructora:** Las Galias

**Nombre:** Daniel Sánchez Prieto

**Profesión:** Ingeniero

**Cargo:** Gerente Pereira

# ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

## ENCUESTADO

**Constructora:** San Simón

**Nombre:** José Fernando Alzate

**Profesión:** Ingeniero

**Cargo:** Constructor

# ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

## ENCUESTADO

**Constructora:** Diprocon Ingeniería

**Nombre:** Gonzalo Mazuera

**Profesión:** Ingeniero

**Cargo:** Gerente General

# ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

## ENCUESTADO

**Constructora:** Gerenciar S.A

**Nombre:** Luis Fernando Ossa

**Profesión:**

**Cargo:** Gerente

# ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

## ENCUESTADO

**Constructora:** OV Constructora

**Nombre:** Luis Humberto Ospina

**Profesión:** Arquitecto

**Cargo:** Gerente General

# ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

## ENCUESTADO

**Constructora:** Asul S.A

**Nombre:** Felipe Acosta Naranjo

**Profesión:** Ingeniero

**Cargo:** Gerente

# ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

## ENCUESTADO

**Constructora:** Mejía y Velásquez

**Nombre:** Ana Milena García

**Profesión:** Ingeniera

**Cargo:** Gerente General

# ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

## ENCUESTADO

**Constructora:** Risaralda su Inversión

**Nombre:** Nora Beltrán

**Profesión:** Ingeniera

**Cargo:** Gerente Comercial

# ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

## ENCUESTADO

**Constructora:** San Ángel

**Nombre:** Miguel Ángel Gutiérrez Mojica

**Profesión:** Ingeniero

**Cargo:** Constructor

# ENCUESTA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Proyecto de Grado Arq. Laura Gómez Correa Universidad EAFIT en convenio con la Universidad del Quindío para optar por el título de MAGISTER EN INGENIERÍA con énfasis en Gestión de la construcción.

**1** ¿Posee algún tipo de conocimiento acerca de principios de sostenibilidad ambiental aplicados a una vivienda?

SI  NO

**2** ¿Aplica algún principio de sostenibilidad en los proyectos que actualmente está construyendo su empresa?

SI  NO

**3** ¿De acuerdo a su conocimiento en el tema, planea aplicar estos principios en proyectos futuros?

SI  NO

**4** ¿Le interesaría conocer acerca de los principios de sostenibilidad y como podrian ser aplicados a una vivienda?

SI  NO

**5** ¿Estaría dispuesto a aplicar dichos principios en proyectos futuros?

SI  NO

## ENCUESTADO

**Constructora:** Urbanizar Pereira

**Nombre:** Iván Gómez

**Profesión:** Ingeniero

**Cargo:** Gerente General

## BIBLIOGRAFÍA

Administración de información de energía de Estados Unidos. "Atlas de emisiones de CO2 en el mundo". [En línea] [Citado en 17 de Junio de 2011] Disponible en: <<http://www.eia.gov/>>

AMBEC, Stefan. CRAMPES, Claude. Provisión de electricidad con fuentes intermitentes de energía. En: Journal of resource and energy economics. Volumen 34. Escuela de economía, Francia. ISSN: 09287655. (Septiembre 2012) p. 319-336.

AMDEE. Asociación Mexicana de energía eólica. "Capacidad eólica instalada en México". [En línea] [Citado en 21 de Julio de 2011] Disponible en: <<http://www.amdee.gov/>>

ANAEEL. Agencia nacional de energía eléctrica de Brasil. "Capacidad eólica instalada en Brasil". [En línea] [Citado en 21 de Julio de 2011] Disponible en: <<http://www.aneel.gov.br/>>

Área de construcción en Pereira. Abril 21 de 2011 [En línea] [Citado en 1 de Septiembre 2011] Disponible en: <[http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido\\_imprimir.aspx?catID=951&conID=4287&pagID=4111](http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido_imprimir.aspx?catID=951&conID=4287&pagID=4111)>

BANAMÉRICAS. Demanda de energía promedio en Colombia, Junio de 2011 [En línea] [Citado en 31 de Julio de 2011] Disponible en: <[www.banamericas.com](http://www.banamericas.com)>

BEHRENTZ, Eduardo. CADENA, Ángela. MUTIS, Hernando. PÉREZ, Juan. ROSALES, Ramón. En: Energía, biocombustibles y cambio climático. Estimación de curvas de abatimiento para Colombia: sector agropecuario, energía, transportes y residuos. pp. 86-96

BOUZAREÑZ, L. Ordieres. Revista transporte, desarrollo y medio ambiente. Energía eólica. Origen, realidad y perspectivas. 2007. Vol. 27 N°1. (2007)

CALVO Martin, Francisco Javier. Energías y Medio Ambiente: IX Jornadas ambientales. Energías y Medio Ambiente. Efecto invernadero. Salamanca, Universidad de Salamanca, ISBN 8478005773, 97884780005772. (2004). p. 443.

CARBÓ, Jordi. Presión atmosférica. 2010 [en línea] [citado en 21 de Agosto de 2011] Disponible en: <<http://www.parasaber.com/medio-ambiente/meteorologia/laciencia-meteorologica/presion-atmosferica/articulo/ciencia-meteorologica-anticlone-barometro-hectopascal-hpa-presion-atmosferica/663/>>

Central hidroeléctrica Sogamoso. En: ISAGEN 2014 [en línea] [citado en 9 de Febrero de 2011] Disponible en: <<https://www.isagen.com.co/>>

COLAK, İlhami. SAGIROGLU, Seref. YESILBUDAK, Mehmet. Data mining and wind power prediction. A literature review. En: Journal renewable energy. Volumen 46. Turquía. ISSN: 09601481. (Octubre 2012). p. 241-247.

CUMALI, İlkiliç. İSMAIL Türkbay. Determinación y utilización del potencial eólico en Turquía. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2002) p. 2207

DIOLETTAS, Stamatios. Las ventajas de la generación eléctrica distribuida. En: Doctorado escuela superior de ingenieros industriales. Universidad politécnica de Cataluña. UPC. (2013) p.67

E.E.P. EMPRESA ENERGÍA DE PEREIRA. Historia. [En línea] [Citado en 29 de Agosto de 2011] Disponible en: <[http://www.eep.com.co/index.php?option=com\\_content&view=section&layout=blog&id=1&Itemid=4](http://www.eep.com.co/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=1&Itemid=4)>

Energías Renovables. Marco Jurídico en Colombia. [En línea] [Citado en 26 de Julio de 2011] Disponible en:  
<<http://www.icpcolombia.org/perspectiva/archivos/revista/No%2021/069-071%20PERS%20OK>>

EPM. Energía Eólica Parque Jepírachi. 2009 [En línea]  
[Citado en 31 de Julio de 2011] Disponible en:  
<[http://www.eppm.com/epm/institucional/energia/infra\\_infra\\_genera\\_enoper\\_parquejepi.html?id=2](http://www.eppm.com/epm/institucional/energia/infra_infra_genera_enoper_parquejepi.html?id=2)>

European Renewable Energy Council (EREC) 2001. [En línea] [Citado en 18 de septiembre de 2011] Disponible en: < <http://www.erec.org/>>

FEDESARROLLO 2013 [En línea]  
[Citado en 8 de Marzo de 2012] Disponible en: <<http://www.fedesarrollo.org.co>>

FEREGH Ghassan M. Potencial eólico en Bahrain. En: Energy Conversion and Management. (1993). p. 506

FERNANDEZ, S.S; JUSMET J.R. Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO2: Algunos posibles escenarios futuros de emisiones. En: Revista Galega de Economía, Volumen 19. Universidad de Barcelona, España. ISSN: 11322799 (2010) p. 1-19.

GARCIA, Angélica. El clima colombiano. 2008. Super cable TV. “Especial clima colombiano”. [Citado en 21 de Agosto de 2011] Versión en línea Disponible en:  
<<http://pwp.supercabletv.net.co/garcru/colombia/Colombia/clima.html>>

GORE, Albert Arnold. La verdad incómoda. En: Conferencias sobre el calentamiento global. (1:2005: Mundo) La verdad incómoda. Estados Unidos y diferentes países del mundo. (2005)

GREEN PEACE. "Contaminación por Petróleo" [En línea]

[Citado en 1 de Julio de 2011]. Disponible en:

<<http://www.greenpeace.org/espana/contaminacion/contaminacion-refinerias>>

HABALI S. M. AMR, Mohammad. SALEH, Isaac. TA'ANI, Rizeq. El viento como fuente de energía alternativa en Jordania. En: Energy Conversion and Management. (2001). p. 357.

IDEAM. Instituto de hidrología, meteorología y Estudios del Ambiente. "TROPOSFÉRICO. ¿Qué es el ozono troposférico?"

[En línea] [Citado en 17 de Junio de 2011] Disponible en:

<[http://ingles.ideam.gov.co:8080/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones & ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=33](http://ingles.ideam.gov.co:8080/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=33)>

Institut Choiseul and KPMG, 2012. [En línea] [Citado en 7 de Enero de 2011]

Disponible en: <<https://www.kpmg.com/>>

INTEF. Instituto nacional de tecnologías educativas y de formación del profesorado.

"Evolución de la población". [En línea] [Citado en 21 de Junio de 2011] Disponible

en:

<[http://ficus.pntic.mec.es/ibus0001/poblacion/evolucion\\_poblacion.html](http://ficus.pntic.mec.es/ibus0001/poblacion/evolucion_poblacion.html)>

Inter-American Development bank IADB, 2012. [En línea] [Citado en 14 de Marzo

de 2012] Disponible en: <<http://www.iadb.org/en/inter-american-development-bank,2837.html>>

Intergovernmental panel on climate change IPCC, 2010. [En línea] [Citado en 16 de Abril de 2012] Disponible en: <<http://www.ipcc.ch/>>

ISAAC, Idi A. GONZALES, Jorge Wilson. AREIZA, Jorge Mauricio. BIENCHI, H. CARDONA, Hugo Alberto, LOPÉZ, G. J. Large scale integration of wind energy in Colombia. Electrical análisis. En: Transmission and distribution conference and exposition. Latin America. T and D-LA (2010) Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia. ISBN: 978-145770487-1 (Noviembre 2010) p. 231-238.

JUNFENG, Li. Secretaria general de la asociación de industrias de energías renovables de China CREIA. Capacidad instalada de energía eólica en China. [En línea] [Citado en 20 de Julio de 2011] Disponible en: <<http://www.ecoperiodico.com/capacidad-instalada-de-energia-eolica-en-china/>>

KEYHANI, M. GHASEMI-VARNAMKHAJASTI, M. KHANALI y R. ABBASZADEH. Evaluación del potencial de energía eólica como fuente de generación energética en Teherán, Capital de Irán. En: Journal of Energy. (2010). p. 201.

LA ROCHE, Pablo M. Calculo de emisiones de gases de efecto invernadero en edificios. Análisis del funcionamiento de varias herramientas en diferentes climas. En: Informes de la construcción. 62 (517) E-ISSN: 1988-3234 (2010); p. 61-80

LECUONA, Neumann Antonio. La energía Eólica: Principios básicos y tecnología. 2002. Versión 4. Pg 67.

Ley 143 de 1994. [En línea] [Citado en 25 de Julio de 2011] Disponible en: <[http://www.upme.gov.co/Normatividad/Upme/Ley\\_143\\_1994.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Upme/Ley_143_1994.pdf)>

Ley 697 de 2001. Uso racional y eficiente de energía. [En línea] [Citado en 26 de Julio de 2011] Disponible en: <[http://www.lawea.org/documentos/Colombia\\_Ley\\_697.pdf](http://www.lawea.org/documentos/Colombia_Ley_697.pdf)>

Ley de 1993. Reglamentación de Seguridad Social Integral. [En línea] [Citado en 28 de Julio de 2011] Disponible en:

<[http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1993/ley\\_0\\_1993.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley/1993/ley_0_1993.html)>

MARINIA M., M. CAPELLOB, M. GOFFIC y G. ROMEIB. Consideraciones técnicas y económicas sobre la explotación de energía eólica en el área de Liguria. EN: Journal of wind engineering and industrial aerodynamics. (1998) p. 441.

Ministerio de Minas y Energía. Atlas de viento y energía eólica en Colombia. 2009 [En línea] [Citado en 30 de Julio de 2011] Disponible en:

<<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:oqt3taX5ytwJ:www.upme.gov.co/Docs/MapaViento/PROLOGO.pdf+fuerzas+q+modulan+el+vient&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co>>

MIRANDA, Cecilia. Economía Energética. Antecedentes. 2009 [en línea] [citado en 22 de Agosto de 2011] Disponible en:

<<http://economiaenergetica.blogspot.com/2009/02/energia-eolica-antecedentes.html>>

Observatorio de la Electricidad de WWF. Capacidad de energías renovables. [En línea] [Citado en 21 de Julio de 2011] Disponible en: <[http://www.wwf.es/que\\_hacemos/cambio\\_climatico/nuestras\\_soluciones/energias\\_renovables/observatorio\\_de\\_la\\_electricidad/](http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/nuestras_soluciones/energias_renovables/observatorio_de_la_electricidad/)>

ONU. Panel intergubernamental de cambio climático. “Cambios de temperatura a nivel global”. [En línea] [Citado en 21 de Junio de 2011] Disponible en: <<http://www.ipcc.ch/>>

PASICKO, Robert. BRANKOVIC, Cedo. SIMIC, Zdenko. Assesment of climate change impacts on energy generation from renewable sources in Croatia. En:

Journal renewable energy. Volumen 46. Universidad de Zagreb, Croacia. ISSN: 09601481. (Octubre 2012) p. 224-231.

RAMIREZ, Castaño Samuel. Redes de distribución de energía. En: Universidad nacional de Colombia. Tercera edición, Manizales. Pg. 44.

SAWYER, Steve. Acerca del consejo global de energía eólica. En: Reporte global de energía eólica 2011. (2011); p. 66.

SE4ALL, Sustainable Energy for all [En línea] [Citado en 19 de Diciembre de 2012] Disponible en: <<http://www.se4all.org/>>

TANG, Xiudong. ZUO, Lei. Towards meso and macro scale energy harvesting of vibration. En: ASME International mechanical engineering congress and exposition, Proceedings. Volumen 10. Estados Unidos. ISBN: 978-079184383-3. (Noviembre 2009) p. 885-896.

TCHINDA, René. KAPTOUOM, Ernest. Energía eólica en Adamaoua y provincias del norte de Camerún. En: Energy Conversion and Management. (2003). p. 857  
Unión Europea fondo social europeo, Fundación Biodiversidad e IEPALA. En: Observatorio medio ambiente. Folleto 1, Madrid (2006); p. 2.

Unidad de planeación minero energética (UPME), 2012. [En línea] [Citado en 29 de Enero de 2013]\_Disponible en: <<http://www.upme.gov.co/>>

Unión Europea, 2006 [En línea] [Citado en 29 de Enero de 2013]\_Disponible en: <[http://europa.eu/pol/ener/index\\_es.htm](http://europa.eu/pol/ener/index_es.htm)>

WHITEWRIGHT, Julian. The potential performance of ancient mediterranean sailing rigs. En: International journal of nautical archaeology. Volumen 40. Reino Unido. ISSN: 10572414. (Marzo 2011) p. 2-17.

WILLSTEDT, Heikki. Cambio climático. En: Experto de WWF en energía y cambio climático (1: 2009: Mundo) Estados Unidos. (2009)