

Estudio del Potencial Eólico en Santa Rosa de Cabal para la Generación de Electricidad por Medio de Aerogeneradores

Study of Wind Potential in Santa Rosa de Cabal for Electricity Generation by Wind Turbines

Fernando Dávila Delgado, David Fernando Martínez Villamil, Edwin Andrés Quintero Salazar

Programa de Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia

fadavila@utp.edu.co

davidfer@utp.edu.co

equintero@utp.edu.co

Resumen— Un aspecto importante que incide de manera notoria en la economía diaria de los hogares y establecimientos comerciales del país, consiste en el pago por el consumo de los servicios públicos, en especial el de energía eléctrica, el cual encarece no solo la canasta familiar, sino también los gastos de cualquier empresa. Esta preocupación ha hecho pensar a la sociedad en torno a otras posibilidades de suministro de energía, no solamente con el fin de reducir dichos costos, sino también pensando en el cuidado y preservación de los recursos naturales. Es así como en este proyecto de investigación se plantea el estudio del potencial eólico en el sector oriental de Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Colombia, con el fin de determinar la factibilidad de instalación de sistemas de generación de energía basados en el potencial eólico. De resultar factible la instalación de un aerogenerador, el impacto ambiental y económico sería de gran relevancia, no solamente para esta población en particular, sino para el país en general, ya que ayudaría enormemente a la reactivación económica de muchas familias con ingresos muy bajos, que de esta manera podrían disminuir ostensiblemente sus gastos mensuales en materia de servicios públicos, los cuales, en el caso concreto de la región y del país, en general son bastante costosos.

Palabras clave— anemómetro, energías alternativas, potencial eólico, sistema de adquisición de datos, túnel de viento, veleta.

Abstract— An important aspect markedly affects the daily economy of households and commercial establishments in the country, is paying for the consumption of utilities, especially electricity, which not only expensive basket, but also the costs of any commercial enterprise. This concern has made the company think about other ways of energy supply, not only to reduce these costs, but also thinking about the care and preservation of natural resources. Thus, in this research project focuses on the study of wind potential in the eastern part of Santa Rosa de Cabal, Risaralda, Colombia, in order to determine the feasibility of installation of power generation based on wind potential. To be feasible to install a wind turbine environmental and economic impact would be of great relevance not only for this particular population, but for the country in general, and that would greatly assist economic recovery in many low-income families, which in this way

could ostensibly reduce your monthly expenses on utilities, which in the case of the region and the country in general are quite expensive.

Key Word — anemometer, alternative energy, wind potential, data acquisition system, wind tunnel, wind vane.

I. INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento de la electricidad, los métodos como ésta se obtiene se han convertido en un problema ambiental, ya que la utilización de combustibles fósiles en los generadores diesel y carbón en plantas térmicas han ocasionado una enorme contaminación en todos los niveles; lo que durante el último siglo se ha convertido en uno de los problemas mundiales más urgentes de resolver. Solo una minoría de países han tomado políticas de generación eléctrica limpia: España, China, Estados Unidos y algunos países europeos. Debido a la creciente demanda mundial de electricidad y a sus altos costos, la energía eólica es utilizada por estos países para contribuir en los sistemas de generación eléctrica y ayudar con la preservación del medio ambiente.

En Colombia, para 1998 se sugirió la construcción del primer parque eólico, para lo cual se llevó a cabo un estudio del estado del arte, la evolución, y las tendencias de la energía eólica en el mundo y, a partir de éstas, las perspectivas para Colombia. Ese mismo año se completaron los estudios de potencial eólico en la Guajira, identificando y evaluando la viabilidad de parques eólicos en este departamento. Para 1999 se realizó el reconocimiento y la viabilidad técnica, económica y ambiental de un parque eólico piloto de 24.7 MW el cual fue terminado en agosto del 2002. Durante el año 2001 el GTZ (Convenio Internacional de Asistencia Técnica) realizó las mediciones del viento, los estudios de factibilidad y los diseños, los cuales fueron terminados en el 2002, año en el que finalmente se concluye la viabilidad económica y ambiental del proyecto, tomando la decisión de construir un parque eólico piloto al norte de la Guajira. A esta nueva y moderna realidad que fue puesta en marcha a mediados del 2003 se le dio el nombre de

Jepirachi (vientos que soplan al norte), y se constituyó en el primer parque eólico construido en el país, suministrando a la red eléctrica nacional más de 19 MW [1]. Sin embargo, a pesar de la envergadura y el alcance de este complejo energético, no se registran en el país intensiones de adelantar un proyecto con alcances similares.

Dado lo anterior, es pertinente adelantar estudios que permitan la introducción de sistemas de energía eléctrica de naturaleza alternativa. Para el caso particular de la energía del viento es necesario realizar con anticipación un estudio de potencial eólico en el sector donde se planea instalar un aerogenerador, debido a que las corrientes de viento toman rumbos diferentes durante el día y su velocidad es variable, por lo cual se hace complejo determinar el punto óptimo para situar un aerogenerador. Por lo tanto, se requiere instalar sensores con el fin de obtener información sobre la velocidad y dirección de la masa de aire que circula en el sector.

Con este proyecto de investigación se pretende hacer un análisis de los datos suministrados por los instrumentos de medida instalados en el punto de interés, para de esta forma determinar la factibilidad de instalación de un aerogenerador en Santa Rosa de Cabal, Risaralda.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 1 es posible apreciar los bloques que intervienen en el proceso de establecer la factibilidad de instalar aerogeneradores en el sector oriental del municipio de Santa Rosa de Cabal, Risaralda. Cada una de las etapas se describe a continuación.



Figura 1. Diagrama de bloques del sistema desarrollado.

A. Construcción del Anemómetro.

Para la elección del anemómetro a construir se deben considerar aspectos como: precisión, costo, ventajas y desventajas frente a otros anemómetros, etc. Se decidió utilizar un anemómetro de copas, debido a que posibilita la detección del viento en todas las direcciones, presenta alta sensibilidad para vientos de pequeñas magnitudes, su construcción es sencilla dado que los materiales (dínamo y cazoletas) son asequibles en el mercado local, y además es muy fácil desmontarlo para la realización del mantenimiento [2].

1. Diseño de las Copas.

El diseño de las copas es una de las partes más importantes en la construcción de un anemómetro, ya que de éstas depende su sensibilidad y buen desempeño en las pruebas de campo. Regularmente, las copas son hechas de materiales livianos y de forma semiesférica, lo que permite el desplazamiento del aire por una cara sin rozamiento. La distancia que debe existir entre la copa y el eje debe ser prudente, ya que si ésta es muy grande la estabilidad del sistema estará comprometida, y si es muy corta, la sensibilidad será pobre. De igual forma, el tamaño de la copa y el ángulo entre copas debe ser igual para garantizar un sistema en equilibrio [3]. Después de realizar diferentes pruebas, se decidió construir las copas de plástico con un diámetro de 3.5 cm y una separación del eje de 4 cm. En la Figura 2 es posible apreciar el anemómetro desarrollado por los autores.

2. Transductor de Velocidad del Viento.

Para la generación del voltaje que luego será transformado a velocidad en m/s se utilizó una dínamo. El torque aplicado por las copas del anemómetro a la dínamo genera niveles de tensión relacionados directamente (se espera que la relación sea lineal) con la velocidad del viento.

3. Calibración del anemómetro.

Una vez desarrollado el anemómetro, es necesario adelantar su calibración con el fin de garantizar que la medición de la velocidad del viento se encuentra dentro del error permitido. Esta operación se realizó mediante un túnel de viento generado por un ventilador, en el cual el anemómetro patrón *LM-81AM* [4] (Figura 3) suministra la referencia para calibrar el anemómetro propio. Para lograr esta operación es necesario acoplar el sistema de copas a la dínamo y luego observar su comportamiento en el túnel de viento.

En la actualidad, existen tres normas que es posible seguir a la hora de calibrar anemómetros de rotación: *ASTM D5096-02*, *ISO 17713-1* y *IEC 61400-12-1* [5]. El documento público *PH89-II-1* de *MSHA* en Estados Unidos, integra las tres normas mencionadas anteriormente y es utilizado en la actualidad para la calibración de anemómetros [6]. Este protocolo ha establecido que los anemómetros deben ser calibrados utilizando un túnel de viento a chorro abierto, el cual toma el aire directamente del exterior y después de hacerlo pasar por la cámara de ensayo se devuelve nuevamente al exterior, además de tener un anemómetro patrón certificado por la *ISO 9001*. Siguiendo los pasos recomendados por la *PHTC*, se calibró el anemómetro secundario de copas para intemperie desarrollado por los autores utilizando para ello el anemómetro patrón *LM-81AM* descrito anteriormente. Las Figuras 4 a 6 presenta los resultados obtenidos durante el proceso de calibración.

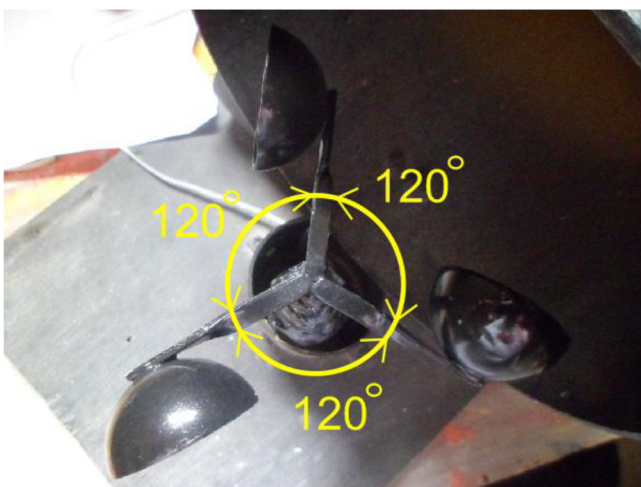


Figura 2. Anemómetro desarrollado por los autores para el proyecto.



Figura 3. Anemómetro patrón (*LM-81AM*) y túnel de viento generado por ventilador.

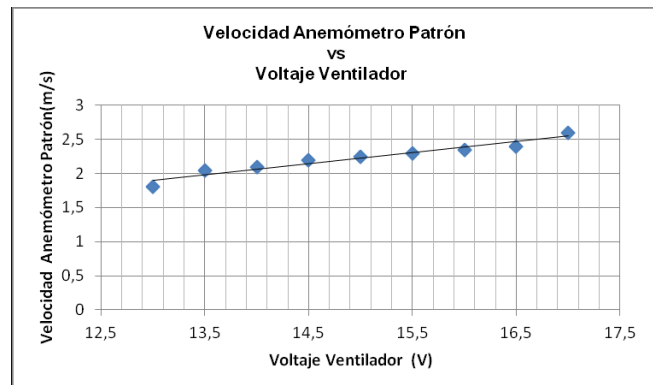


Figura 4. Velocidad del viento medida por el anemómetro patrón en función del voltaje de alimentación aplicado al ventilador del túnel de viento.

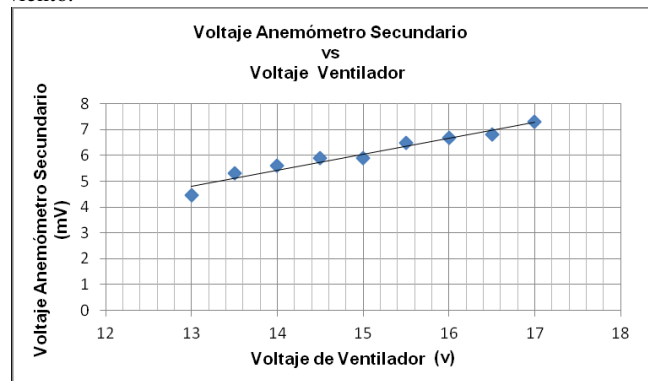


Figura 5. Tensión generada por el anemómetro de copas construido, en función del voltaje de alimentación aplicado al ventilador del túnel de viento.

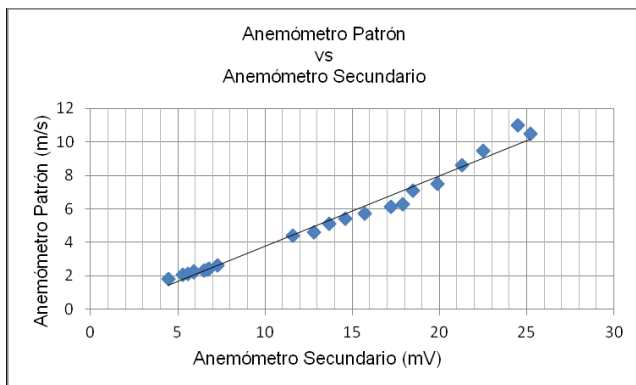


Figura 6. Relación existente entre la velocidad del viento medida por el anemómetro patrón y la tensión generada por el anemómetro de copas construido.

De acuerdo a la Figura 6, la ecuación que define el comportamiento del anemómetro construido es:

$$y = 0,4215x - 0,4697 \quad (1)$$

Donde:

x : Tensión en mV suministrada por el anemómetro secundario.

y : Velocidad del viento en m/s medida por el anemómetro patrón.

La ecuación (1) permite concluir que el comportamiento del anemómetro desarrollado es lineal con respecto a la velocidad del viento.

Así mismo, es necesario destacar que los datos arrojados por el procedimiento de calibración arrojaron una correlación cercana a la unidad:

$$R^2 = 0,9795 \quad (2)$$

B. Construcción de la Veleta.

Para la elección de la veleta se deben considerar aspectos tales como costo, consumo de energía, y complejidad en el mecanismo de transducción. Considerando lo anterior, se construyó la veleta utilizando sensores de efecto *Hall* A3212EUA [7] de salida conmutada; los cuales presentan bajo consumo de energía, ningún desgaste mecánico, pero implican cierta complejidad en el acople con el sistema de giro. La veleta está compuesta por una pala de polietileno que da empuje a un eje horizontal de aluminio montado sobre una balinera (ver Figura 7). Además, un contrapeso montado en la parte trasera del sistema ofrece estabilidad y mantiene la veleta en la dirección en la que circula el viento.

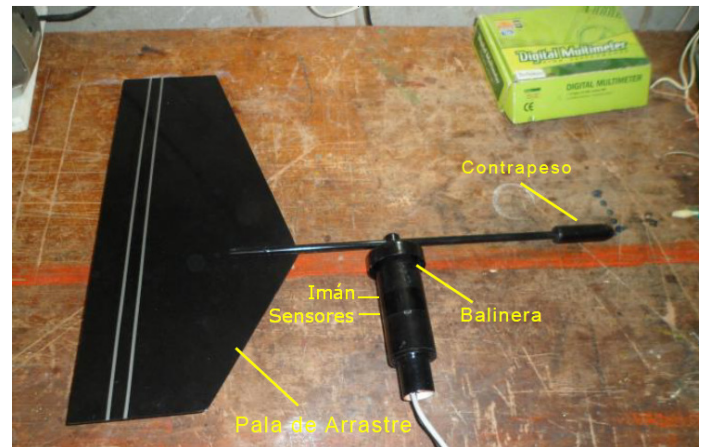


Figura 7. Veleta construida para el proyecto.

1. Calibración de la Veleta.

Para establecer la correspondencia entre cada sensor y un punto cardinal en particular se utilizó una brújula. De esta forma se observó que los sensores de efecto *Hall* suministran una tensión entre $1,8$ y $2,3$ V sin presencia de campo magnético, y de 0 V con existencia de este último. Los datos obtenidos durante el proceso de calibración de la veleta se presentan en la Tabla 1.

Dirección	Sensor	Voltaje de Alimentación (V)	Voltaje de Salida sin Presencia de Campo Magnético (V)	Voltaje de Salida con Presencia de Campo Magnético (V)
Norte	1	3.3	2.2	0
Noreste	2	3.3	2.1	0
Este	3	3.3	1.8	0
Sureste	4	3.3	2.2	0
Sur	5	3.3	2.1	0
Suroeste	6	3.3	1.8	0
Oeste	7	3.3	2.3	0
Noroeste	8	3.3	2.2	0

Tabla 1. Datos obtenidos durante el proceso de calibración de la veleta construida (sensores de efecto Hall).

C. Acondicionamiento de Señal.

Una vez desarrollados el anemómetro y la veleta, se diseñó la etapa de acondicionamiento de señal que lleva la información suministrada por estos transductores al sistema de almacenamiento de datos.

1. Señal del Anemómetro.

El anemómetro construido suministra una tensión que oscila entre 4 mV y 28 mV, por lo cual se construyó una etapa de acondicionamiento de señal que eleva estos niveles de tensión a un máximo de $3,3$ V con el fin de que sean detectados por el sistema de almacenamiento. Además, esta etapa realiza un acople de impedancias que evita que el dispositivo de almacenamiento sobrecargue el anemómetro, el cual actúa como

fuente en el montaje. En la Figura 8 se presenta el diagrama esquemático del circuito de acondicionamiento para la señal suministrada por el anemómetro.

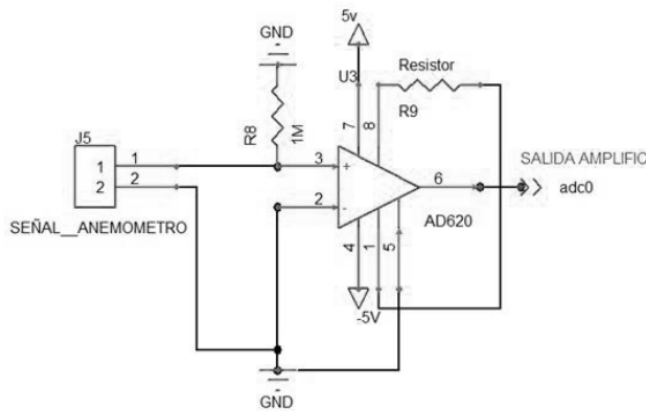


Figura 8. Acondicionamiento de la señal suministrada por el anemómetro.

2. Señal de la Veleta.

Según se mencionó en el numeral 2.2.1, el sensor de efecto Hall implementado en la veleta entrega una señal discreta que toma solo dos valores: 0 V y 1,8 V. Así, es necesario construir una etapa de acondicionamiento para cada sensor que eleve este valor de tensión a 3,3 V, de tal forma que sea leída por el sistema de almacenamiento. En la Figura 9 se presenta el diagrama esquemático del sistema de acondicionamiento de la señal entregada por la veleta.

D. Sistema de Almacenamiento de Datos.

Para el almacenamiento de los datos de velocidad y dirección del viento se utilizó una SD memory stick, la cual proporciona una alta portabilidad de la información ya que puede ser leída por la gran mayoría de equipos de cómputos convencionales. De esta forma, la señal suministrada por los transductores de velocidad y dirección del viento (anemómetro y veleta), una vez acondicionada, llega a un microcontrolador ATMEGA268 de Atmel® [8], el cual se encarga de relacionar los voltajes recibidos con las variables que se desean medir, para posteriormente almacenar esta información en la tarjeta de memoria. En la Figura 10 se presenta el diagrama esquemático del circuito desarrollado para el almacenamiento de los datos. Nótese en la parte inferior derecha la SD memory stick. Por otra parte, la Figura 11 muestra el aspecto del prototipo de medición desarrollado.

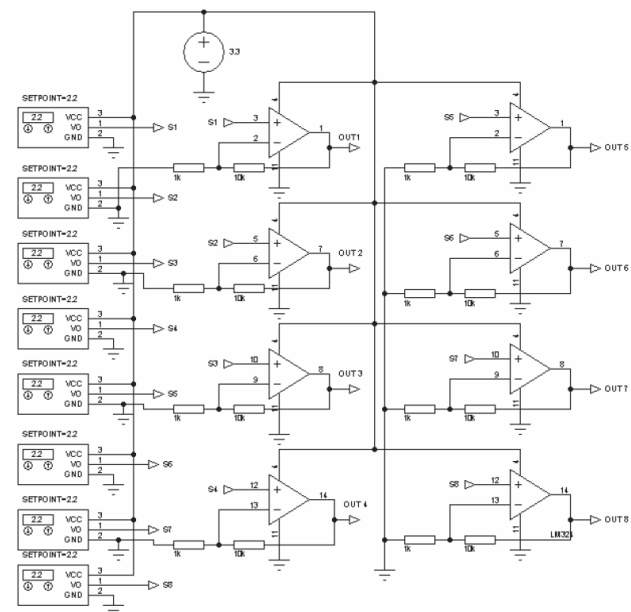


Figura 9. Acondicionamiento de señal para los seis sensores de efecto Hall de la veleta.

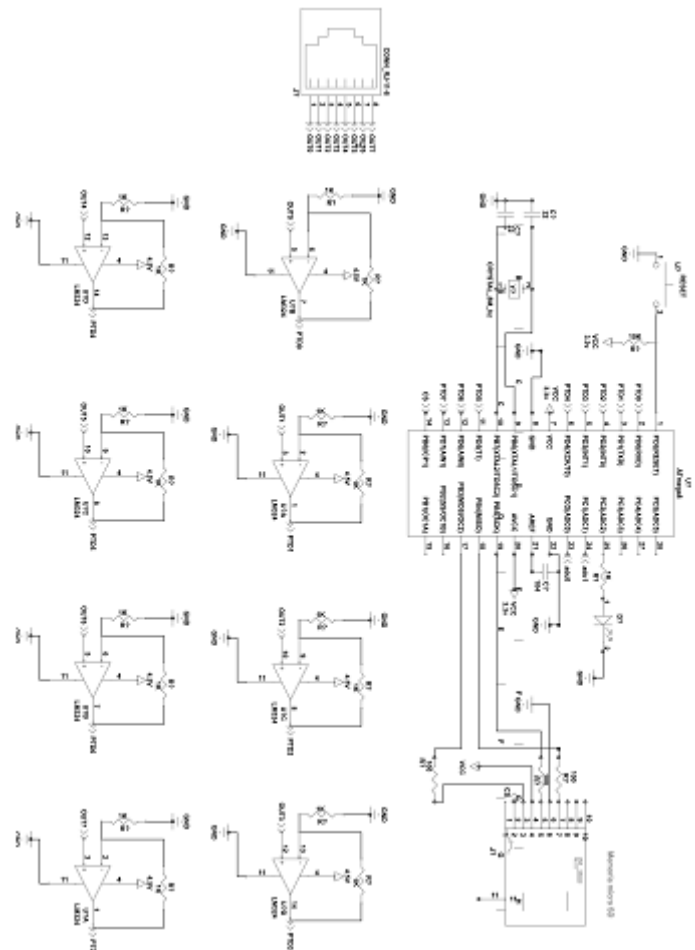


Figura 10. Sistema para el almacenamiento de los datos.



Figura 11. Aspecto del sistema de medición desarrollado.

E. Instalación del Sistema de Medición.

El punto de ubicación para los equipos de medición es el sector oriental del municipio de Santa Rosa de Cabal, Risaralda. Este sitio es estratégico para capturar el potencial eólico ya que se encuentra en uno de los sectores más elevados del municipio, y alejado de montañas, lo cual brinda confianza en el registro de los datos, evitando turbulencias a causa de árboles o construcciones cercanas. En este sitio se construyó una torre con altura de 6 m y dos brazos independientes en los cuales se ubicaron los dos sensores. La distancia entre los mismos es de $2,5\text{ m}$; lo suficientemente alejados para que no interfieran entre sí. La Figura 12 presenta una fotografía del sistema una vez instalado en el sitio de medición.



Figura 12. Instalación de los sensores construidos.

III. RESULTADOS

Una vez desarrollado e instalado el sistema de medición, se tomaron registros de velocidad y dirección del viento para

los meses agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre del año 2011, en Santa Rosa de Cabal, Risaralda. Los datos obtenidos para cada mes se presentan en las Figuras 13 a 17.

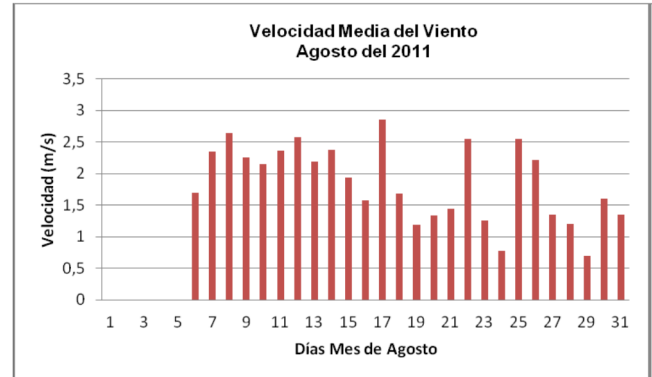


Figura 13. Velocidad del viento medida en el mes de agosto para Santa Rosa de Cabal, Risaralda.

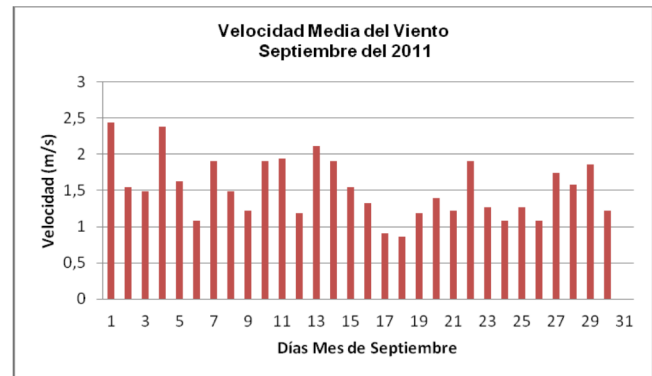


Figura 14. Velocidad del viento medida en el mes de septiembre.

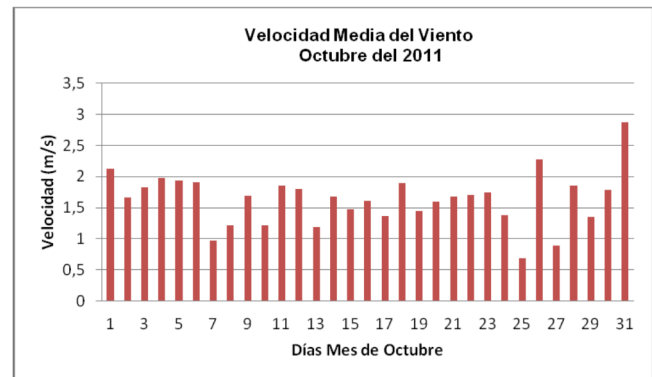


Figura 15. Velocidad del viento medida en el mes de octubre.

Por otra parte, la Tabla 2 presenta los promedios mensuales de velocidad del viento medidos en Santa Rosa de Cabal con el sistema desarrollado, y comparados con los promedios de otras regiones del país. Allí se observa que según el estudio de potencial eólico para los meses de agosto a diciembre de 2011, la velocidad del viento en las ciudades costeras es notablemente más alta. Por ejemplo, Riohacha y Barranquilla presentan velocidades promedio por encima de 2 m/s , mientras que ciudades como Pereira y Santa Rosa de Cabal presentan velocidades de viento por debajo de 2 m/s .

Con el fin de establecer la energía eléctrica que se podría generar con las velocidades del viento medidas en las ciudades de Colombia establecidas en la Tabla 2, se supuso la utilización de los generadores *AirBlaze 200W* de *WindEnergy Inc.* [9], y *Aeolos H-500W* de *Aeolos Wind Turbine Inc.* [10]. La energía eléctrica que se podría genera se resume en la Tabla 3, en la cual se observa que ciudades como Barranquilla y Riohacha, situadas en zonas costeras, presentan un potencial eólico alto, siendo factible el emplazamiento de un aerogenerador. No sucede lo mismo en ciudades situadas cerca a las cordilleras, tales como Pereira y Santa Rosa de Cabal, donde las mediciones demuestran un potencial eólico bajo.

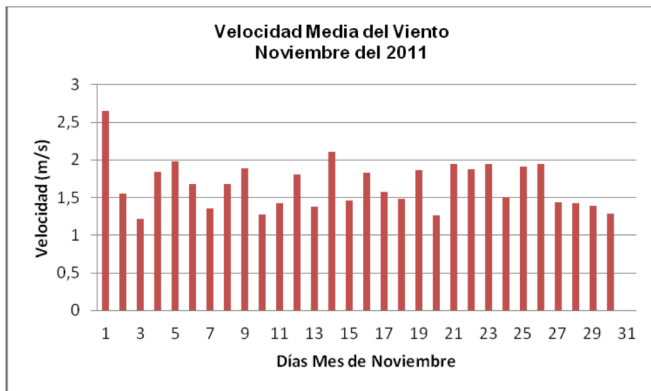


Figura 16. Velocidad del viento medida en el mes de noviembre.

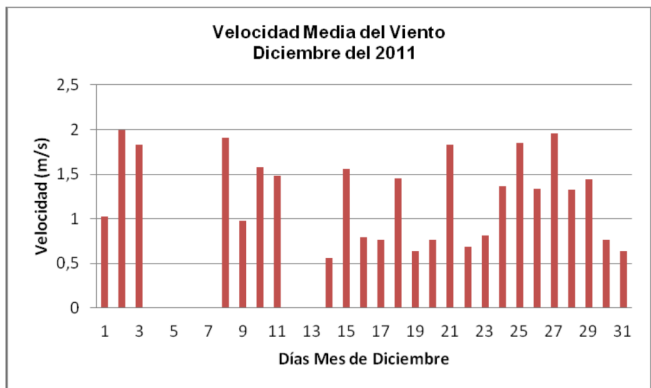


Figura 17. Velocidad del viento medida en el mes de diciembre.

Meses Año 2011	CIUDAD				m/s/año
	Barranquilla, (Soledad)	Riohacha, (Guajira)	Pereira, (Risa/da)	Santa Rosa de Cabal, (Risa/da)	
Agosto	2.74	3.1	1.49	1.85	
Septiembre	2.46	2.80	1.46	1.54	
Octubre	2.10	2.38	1.32	1.65	
Noviembre	2.36	2.55	1.52	1.77	
Diciembre	3.68	3.27	1.16	1.35	

Tabla 2. Velocidad del viento en Santa Rosa de Cabal y en otras regiones del país¹.

¹ Registros tomados diariamente de la base de datos: <http://www.tutiempo.net>

Tipo de Aero-generador	CIUDAD				Mes
	Barranquilla (Soledad)	Riohacha (Guajira)	Pereira (Risa/da)	Santa Rosa de Cabal (Risa/da)	
Air Blaze 200w	8.38	9.39	4.52	5.63	Agosto
	7.44	8.48	4.43	4.65	Septiembre
	6.32	7.23	3.95	4.91	Octubre
	7.14	7.56	3.56	5.32	Noviembre
	11.14	9.93	6.59	4.06	Diciembre
Aeolo 500w	12.25	13.52	6.38	8.19	Agosto
	10.77	12.24	5.84	6.78	Septiembre
	9.19	10.46	5.72	7.25	Octubre
	10.33	10.95	6.61	7.71	Noviembre
	16.11	14.1	5.0	5.9	Diciembre

Tabla 3. Energía eléctrica que se podría generar con las velocidades del viento medidas en diferentes ciudades de Colombia.

La Tabla 4 presenta la energía aprovechada por un bombillo ahorrador de 10 W y la disminución en la facturación de la empresa de energía eléctrica, teniendo en cuenta que el valor que 1 KWH consumido a la empresa Hidroeléctrica de Caldas (CHEC), prestadora del servicio en Santa Rosa de Cabal, le cuesta al usuario \$ 466 pesos colombianos².

Tipo de Aero-generador	CIUDAD				Mes				
	Barranquilla (Soledad)	Riohacha (Guajira)	Pereira (Risa/da)	Santa Rosa de Cabal (Risa/da)					
Air Blaze 200w	800	\$3.200	939	\$3.756	452	\$1.808	563	\$2.252	Agosto
	744	\$2.976	848	\$3.392	443	\$1.772	465	\$1.860	Septiembre
	632	\$2.528	723	\$2.892	395	\$1.580	491	\$1.954	Octubre
	714	\$2.856	756	\$3.024	356	\$1.424	532	\$2.128	Noviembre
	1.114	\$4.456	993	\$3.972	659	\$2.636	406	\$1.624	Diciembre
Aeolo 500w	1.225	\$4900	1.352	\$5.408	638	\$2.552	819	\$3.276	Agosto
	1.077	\$4.308	1.224	\$4.896	584	\$2.336	678	\$2.712	Septiembre
	919	\$3.716	1.046	\$4.184	572	\$2.288	725	\$2.900	Octubre
	1.033	\$4.132	1.095	\$4.380	661	\$2.644	771	\$3.084	Noviembre
	1.611	\$6.444	1.410	\$5.640	500	\$2.000	590	\$2.360	Diciembre
Horas aprovechadas al mes por un bombillo de 10w y su costo en pesos colombianos									

Tabla 4. Costo de la energía eléctrica entregada por los generadores *Air Blaze 200W* y *Aeolo 500W*.

En la Tabla 4 se muestra la disminución del valor en la facturación a la empresa de energía eléctrica si se instalara un aerogenerador en algunas ciudades del país. Se observa que en ciudades como Barranquilla y Riohacha el promedio es de \$ 4.100 pesos, lo que significa una recuperación de la inversión en 48 años para el *AirBlaze 200w* y en 83 años para el *Aeolo 500w*. La factibilidad de instalar un aerogenerador en Santa Rosa de Cabal es reducida debido a la gran inversión y poca retribución en costo energético. Para obtener la recuperación del dinero invertido en poco más de 2 años, la velocidad de viento debe estar en promedio mensual de 5 m/s, contribuyendo a la disminución de la facturación en energía eléctrica en \$73.000 pesos colombianos por mes.

IV. CONCLUSIONES

- Antes de la instalación de un aerogenerador es necesario conocer las velocidades promedio del viento que circulan en el punto donde se desea instalar dicha máquina. Para esto se deben utilizar instrumentos de medida que entreguen datos confiables y evitar asumir que existe

² Factura de la Central Hidroeléctrica de Caldas S.A. E.S.P, Nit 890 800 128-6, documento equivalente No 31009601, Número de Cuenta 529163812.

velocidades de viento altas por simples observaciones o comentarios de terceros. Teniendo en cuenta lo anterior se puede evitar incurrir en gastos de dinero innecesarios y contribuir muy poco con el medio ambiente.

- El estudio de potencial eólico hecho durante los meses de Agosto a Diciembre del año 2011 en el sector oriental de Santa Rosa de Cabal, arrojó datos de velocidades de viento promedio inferiores a 3 m/s; concluyendo que este punto geográfico no es apto para aprovechar el recurso eólico con el uso de aerogeneradores, debido a que la inversión hecha para comprar un aerogenerador de \$ 4.200.000 pesos colombianos se recuperaría en más de 20 años. Con el estudio se pretende mostrar la viabilidad solo para el punto de vista económico y energético más no presenta resultados que permitan establecer beneficios ambientales.
- Es necesario comparar los resultados obtenidos con el estudio de otro tipo de energía renovable, por ejemplo la solar, e implementar un sistema híbrido (combinación de ambas tecnologías) y determinar su factibilidad.
- A pesar de que la presente investigación arrojó como resultado una factibilidad negativa desde el punto de vista económico para la instalación de aerogeneradores en Santa Rosa de Cabal, Risaralda, la misma constituye una metodología clara para el estudio de la viabilidad de instalar equipos que hagan posible el aprovechamiento de la energía eólica que se podría aplicar sin mayores cambios en cualquier población. Los lineamientos aquí establecidos no están sujetos a las condiciones geográficas o climáticas de Santa Rosa de Cabal, por lo cual es posible aplicar la metodología en otras ciudades del país con condiciones muy diferentes, lo cual solo exigirá cambios mínimos en los elementos que componen el sistema (por ejemplo, una altura mayor del soporte del anemómetro y la veleta, o recubrimientos adicionales que protejan los instrumentos en lugares en los cuales las condiciones climáticas son extremas). Por otra parte, la estrategia de determinación de factibilidad establecida en este documento es bastante económica, ya que el costo de los elementos involucrados en el sistema desarrollado no supera \$ 500.000. Esta situación da más fuerza a la idea de implementar el procedimiento aquí descrito en otras ciudades del país.

REFERENCIAS

[1] L. A. Rodríguez, “Planeación de Generación de Energía”, Empresas públicas de Medellín. 2009. [En Línea]. Disponible en:

<http://fs03eja1.cormagdalena.com.co/nuevaweb/Energia/Foro%20energetico/Presentaci%C3%B3n%20EPM.pdf>.

[2] F. J. Garcés. “Energía Eólica”. Escuela de Ingeniería de Antioquia. 2010. [En Línea]. Disponible en: <http://fluidoseia.edu.co/hidraulica/articulos/flujodegases/energiaeolica/energiaeolica.html>.

[3] S. Yáñez. “Medición de Viento para Realizar un Correcto Pronóstico Energético”. Ecosem Inc. 200. [En Línea]. Disponible en: <http://www.ecosem.es/pdf/ammonit.pdf>.

[4] LM-81M Anemometer Datasheet. Lutron Electronics Inc. 2005.

[5] A. Almonacid, and L. Nahuelhual. “Estimación del Potencial Eólico y Costos de Producción de Energía Eólica en la Costa de Valdivia, Sur de Chile”, *Revista Agro Sur*, vol. 37, N° 2, p.p. 103-109, 2011.

[6] MSHA Handbook Series. “Anemometer Calibration Procedures”. United States Department of Labor Mine Safety and Health Administration Technical Support Division. 2011. [En Línea]. Disponible en: <http://www.msha.gov/readroom/handbook/ph09-ii-1.pdf>

[7] A3212EUA Micropower Ultra Sensitive Hall Effect Switch Data Sheet. Allegro Micro Systems, Inc. 2007.

[8] ATMEGA268 Microcontroller Data Sheet. Atmel Corporation. 2011.

[9] AIR Breeze 500W Wind Turbine Data Sheet. Southwest Inc. 2010.

[10] Aeolos H500W Wind Turbine Data Sheet. Aeolos Inc, 2009.