

SIMULACION DE LA VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO UTILIZANDO LABVIEW

Alfonso Santos Jaimes, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga
Edwin Córdoba Tuta, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga

Recibido Marzo 13, 2009- Aceptado Abril 26, 2009

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v3n1.a12>

Resumen— Las nuevas tecnologías encaminadas a la obtención de energía a partir de fuentes limpias y renovables, deben ser adaptadas a las condiciones propias de los países en donde desean ser implementadas. Este proyecto busca desarrollar un equipo que permita simular las condiciones de variación de la velocidad del viento, con el fin de disponer de una herramienta útil en el diseño de sistemas de aprovechamiento de la energía eólica disponible en el país.

El sistema consta de un túnel de viento, un variador de velocidad electrónico y el desarrollo de un programa en LabView fácilmente modificable, que permite simular diferentes condiciones de variación tanto en amplitud como en frecuencia de velocidades de viento.

La metodología implementada consistió en una primera fase en el desarrollo del túnel de viento y la búsqueda de velocidades reales de viento para la ciudad de Bogotá, a intervalos de tiempo de 4 y 6 segundos. En una segunda fase se desarrolló el programa en LabView con base en la mayor variación de amplitud obtenida de las mediciones encontradas y en una fase final se realizaron las pruebas que permiten comparar los valores simulados dentro del túnel con los valores reales encontrados. Los resultados permiten observar que el sistema desarrollado simula las variaciones de velocidad de viento con una exactitud del 96.16 y 92.3 % para tiempos de muestre de 4 y 6 segundos respectivamente.

Palabras clave— Velocidad de Viento, LabView, Energía Eólica, Simulación

Abstract— New technologies, taught towards finding clean and renewable energy sources, must be adapted to each Country and to the conditions where it is desired to be implemented. This project

is intended to develop equipment, in order to simulate the variable wind condition. As a result it is acquired a tool, useful in the design of systems to get advantage of wind energy available in Colombia.

The system includes a wind tunnel, an electronic velocity controller and the development of a program in LabView easily adaptable. This will allow simulating different conditions both, in the variation of amplitude and frequency associated with wind velocity.

The methodology comprises 3 steps; the first is about the development of the wind tunnel setting a wind velocity using as a parameter data obtained from a data base in Bogotá. In a second step a LabView program was developed, using as a parameter the highest amplitude variation obtained in the data base; finally in the last step, measurement tests were performed so that experimental data and theoretical data were compared. The results showed that the wind tunnel can simulate wind velocity variations, showing accuracy equal to 96.16% and 92.3% for sampling times of 4 and 6 seconds.

Keywords— Wind Speed, LabView, Wind Energy, Simulation.

I. INTRODUCCIÓN

Los centros de investigación deben enfocarse en el desarrollo o adaptación de tecnologías para aprovechamiento de fuentes energéticas disponibles, lo cual podría dar lugar a grandes beneficios económicos y sociales; uno de los principales problemas que existe en la actualidad es que el tiempo que transcurre entre la concepción de una idea y su disponibilidad en el mercado dura en la mayoría de los casos muchos años [1], lo que obliga a la creación de herramientas que faciliten el proceso y disminuyan el tiempo de maduración de las ideas concebidas.

¹ Magíster en Ingeniería Mecánica; Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga; Facultad de Ingeniería Mecánica; Grupo de Investigación GIDETECHMA; alfonso.santos@upbbga.edu.co

Una de las principales fuentes energéticas que se está implementado a nivel mundial dentro del marco de las energías limpias y renovables es la eólica, energía producida a partir de la velocidad del viento mediante equipos llamados aerogeneradores [2].

El viento como fuente energética representa una alternativa atractiva para su aprovechamiento como potencia eléctrica o mecánica en zonas rurales de Colombia donde no se cuenta con el sistema de interconexión eléctrica nacional.

Colombia en la actualidad tiene instalados 19.5 MW en el parque eólico Jeparachi, ubicado en el departamento de La Guajira, potencia suministrada mediante 15 aerogeneradores de 1.3 MW cada uno [3]. Los equipos, la capacitación y el entrenamiento del personal fueron realizados por la firma alemana Nordex Energy GmbH.

La implementación de pequeños aerogeneradores que oscilan en rangos de 250 vatios a 250 kilovatios, a menudo son las fuentes de energía menos costosa en sitios remotos que no están conectados al sistema de interconexión eléctrica del país [4]; sin embargo depender de tecnologías extranjeras puede ser una de las principales razones por la cual no se ha implementado como política energética.

Las condiciones económicas actuales de las zonas más propensas a la instalación de este tipo de maquinaria requieren que tanto el sector gubernamental como el de educación unan esfuerzos encaminados en una primera fase al diseño de pequeños aerogeneradores, razón por la cual la determinación de los mapas de viento, las cargas estáticas y dinámicas sobre los equipos (palas, estructura, rotor) y la selección de los materiales y procesos de fabricación más adecuados y económicos deben ser abordados por los diferentes grupos de investigación existentes en el país.

El desarrollo de un túnel de viento que permita simular la variabilidad de la amplitud de la velocidad de viento real, representa una herramienta de gran valor debido a que facilita la determinación del comportamiento de nuevos materiales y formas que pueden ser utilizadas tanto en la estructura [5,6] como en las aspas de un pequeño aerogenerador.

Durante el periodo de funcionamiento de los aerogeneradores la acción de las fuerzas aerodinámicas de sustentación y arrastre [7] inducen una serie de deformaciones y esfuerzos en las palas, estructura y rotor; las cuales deben ser analizadas desde el punto de vista estructural, con el objeto de estimar la fatiga y/o ruptura del material, así como también poder optimizar la forma [8].

Para poder realizar un estudio detallado de los esfuerzos presentes en cada uno de los elementos que componen un aerogenerador es necesario tener un conocimiento profundo sobre el comportamiento del viento y las variables que lo caracterizan, especialmente al interior de la capa límite atmosférica [9].

Con el fin de analizar la influencia de la variación de la velocidad del viento sobre cada uno de los elementos que componen un aerogenerador, se recomienda tomar registros temporales de las cargas estáticas y dinámicas que se originan en los periodos de operación[10]; sin embargo en países que están en etapas iniciales de desarrollo de esta clase de tecnología - donde no se cuenta con una gran cantidad de equipos instalados- es necesario implementar bancos de laboratorios que permitan tener una aproximación a las condiciones reales de los emplazamientos donde se desean instalar, con el fin de realizar una adaptación adecuada de las tecnologías existentes comercialmente o la implementación de tecnologías propias.

El objetivo de este proyecto es determinar si es posible simular las variaciones de la amplitud de la velocidad del viento a diferentes frecuencias de muestreo, mediante la utilización de un variador de velocidad electrónico implementado en el extractor de un túnel de viento.

II. METODOLOGIA

A. *Diseño y Construcción del túnel de viento*

La primera etapa del proyecto consistió en el diseño conceptual y básico del túnel de viento. El túnel que se diseño es subsónico de circuito abierto, el cual se divide en las siguientes partes: un extractor que es el encargado de generar el movimiento dentro del sistema; una zona de

contracción que tiene como finalidad transformar el flujo de aire turbulento entregado por el extractor en un flujo laminar, el cual aumenta su velocidad y disminuye su presión; una cámara de pruebas, que es el lugar donde se colocan los modelos a analizar y los sensores utilizados para la medición de las variables de interés; por último se tiene un difusor, el cual se utiliza para disminuir la velocidad de salida del aire.

Cada una de las etapas de diseño estuvo soportada por la utilización de software de elementos finitos, tanto en la parte estructural mediante la utilización de Ansys clásico, como en el comportamiento del fluido (Fig. 1) dentro del túnel mediante el uso de CFX.

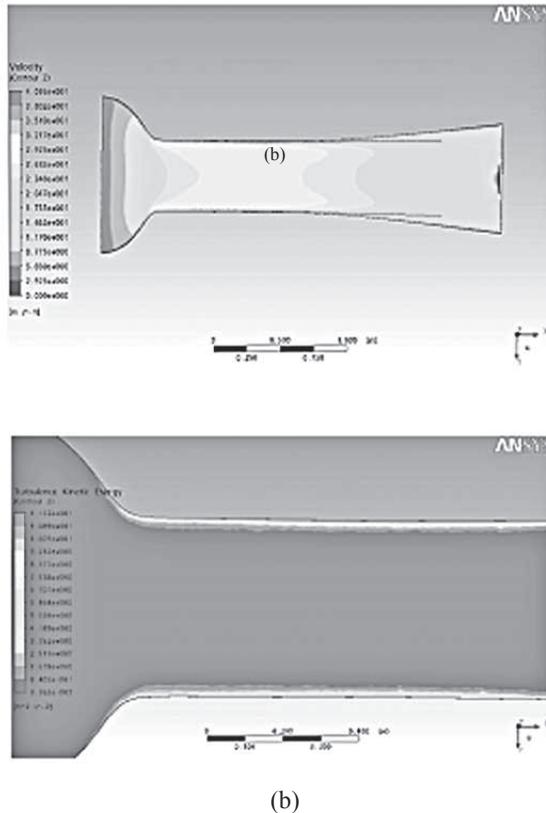


Figura. 1. Resultados Simulación mediante el software CFX; a) Velocidad del flujo de aire dentro del túnel de viento, b) Energía cinética de turbulencia en la zona de pruebas.

En la [Figura 1a] se observa como la velocidad en la zona de contracción aumenta, y permanece constante en la zona de pruebas, parámetro y condición importante para la fiabilidad de los resultados obtenidos mediante la utilización de este equipo de pruebas; en la [Figura. 1b] se ilustra una energía cinética de turbulencia bastante baja en el centro de la zona de pruebas y valores intermedios en la superficie interna del túnel que está en contacto entre el aire, lo que garantiza un flujo laminar dentro del volumen donde se realizan los ensayos.

Después de terminado el proceso de diseño, se obtuvieron los planos detallados del sistema y se procedió a la construcción del mismo, para lo cual se utilizaron materiales como madera, acero, acrílico y poliuretano. Se implemento dentro del sistema un extractor de aire que genera un caudal máximo de $5.33 \text{ m}^3/\text{s}$, un variador de velocidad sinamics G110 y un anemómetro AM-4206.

B. Determinación perfiles de Viento reales.

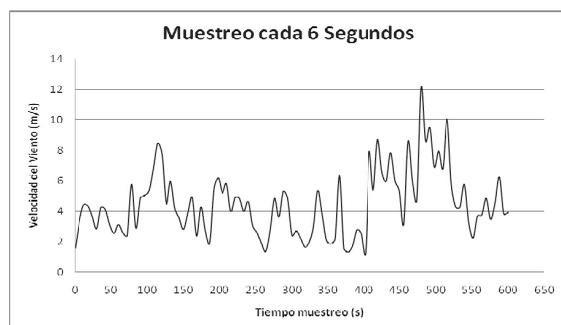
Como la finalidad del equipo construido es poder simular en laboratorio las variaciones de amplitud de la velocidad del viento en condiciones reales, es necesario encontrar perfiles que describan condiciones críticas de variación, para ello se solicitó información recolectada a un grupo de investigación de la universidad militar nueva granada de la ciudad de Bogotá².

De la información disponible se seleccionaron intervalos de tiempo de 10 minutos cada uno, donde se encontraban las mayores variaciones de amplitud de la velocidad del viento; para poder observar la influencia de la frecuencia de sensado de la variable de interés, se realizaron perfiles para 4 y 6 segundos, dando como resultado la Figura 2

² Realizadas por el Ingeniero William Gomez, docente de la Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá) y facilitadas para el desarrollo de este trabajo.



(a)



(b)

Figura 2. Perfiles de Velocidad de tiempo: a) tiempo de muestreo 4 segundos y b) tiempo de muestreo 6 segundos.

En la Figura [2a] se observa un tiempo de muestreo de 4 segundos, donde se encuentran velocidades que oscilan entre 2 y 13.3 m/s; en la [Figura. 2b] este rango se encuentra entre 1.24 y 12.13 m/s y los tiempos de sensado fueron cada 6 segundos.

C. Desarrollo programa LabView para simular velocidad de viento

La simulación de las velocidades del viento dentro del túnel se realizó por medio de un extractor que a condiciones normales genera un valor máximo de 22 m/s, para obtener valores intermedios se utilizó un variador de velocidad, lo que permite simular valores de velocidad del viento entre 0 y el máximo valor posible. La velocidad del viento fue medida usando un anemómetro que suministra información de

velocidad y temperatura del aire, la cual es indicada en el display del equipo, además este sistema de medición viene provisto con un puerto de comunicación RS-232 lo que facilita la toma de datos a través de un PC.

La metodología usada para la simulación de la velocidad del viento dentro del túnel fue la siguiente:

- **Selección sistema de adquisición de datos y de control:** En este proceso la cantidad de señales involucradas son muy pocas, solo se necesita una salida analógica de 0 a 10 VDC, para variar la frecuencia del variador, y un puerto de comunicación RS-232 para la obtención de la velocidad del viento y temperatura del aire. Bajo estas condiciones se seleccionó la arquitectura LabView® como medio para la adquisición de datos.

- **Caracterización del Extractor:** Es necesario conocer la relación que existe entre la frecuencia de giro del extractor y la velocidad del aire dentro del túnel de viento, para conseguir esta curva de calibración se realizaron pruebas a diferentes condiciones de velocidad y los datos de frecuencia de giro del ventilador representados en voltaje, contra la velocidad del viento fueron tabulados [Tabla I] y graficados [Figura 3], con esta información se obtuvo una curva de regresión correspondiente a un polinomio de grado cuatro mediante Excel.

**TABLA I
RESULTADOS ENSAYOS PARA DETERMINAR
CORRELACIÓN FRECUENCIA DE GIRO – VELOCIDAD
DE VIENTO**

Velocidad (m/s)	Voltaje Experimental (V)	Voltaje Correlación (V)	Error (%)
0	-0.005	-0.013	152
1	0.476	0.504	5.8
2	0.956	0.952	0.4
3	1.408	1.369	2.8
4	1.809	1.780	1.6
5	2.208	2.200	0.3
6	2.496	2.638	5.7
7	3.208	3.088	3.7
8	3.605	3.540	1.8
9	4.098	3.971	3.1
10	4.429	4.348	1.8
11	4.728	4.632	2.0
12	5.017	4.769	4.9

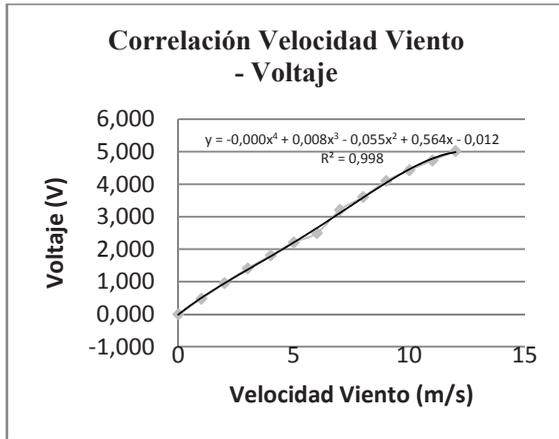


Figura 3. Correlación entre la velocidad del viento dentro de la zona de pruebas y el voltaje de entrada al extractor de aire.

- **Programación en LabView para simulación de variación de velocidad de viento:** Conociendo el suministro de aire del extractor en función de la frecuencia del motor, se procedió a generar archivos planos que relacionen el tiempo con la velocidad del viento en condiciones reales, con esta información se realizó la programación para la automatización del motor del extractor [Figura 4] en el lenguaje de programación LabView 8.5

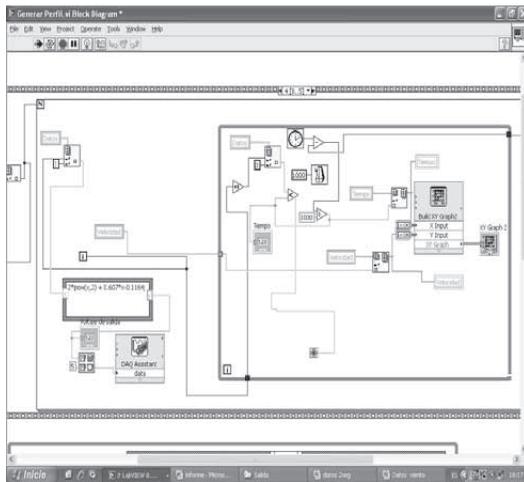


Figura 4. Programación en LabView de la automatización del motor del extractor de aire.

El programa desarrollado fue probado mediante ensayos preliminares, con el fin de verificar el correcto funcionamiento según la correlación encontrada, para esto se simuló un perfil en forma de escalón que cambia continuamente de valor cada 5 segundos, hasta un valor máximo de 10 m/s, tal como se ilustra en la Figura 5

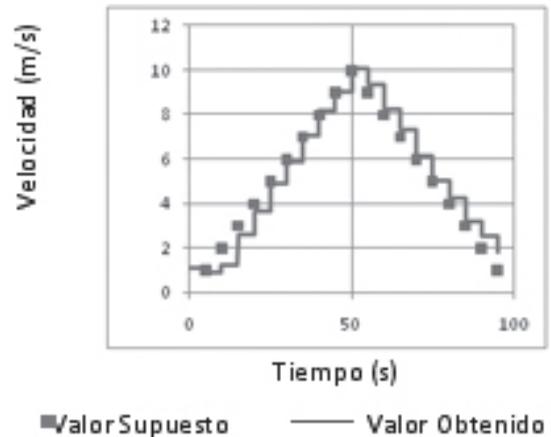


Figura 5. Prueba de comprobación del programa de simulación desarrollado

En la Figura 5 se aprecia una buena correlación entre el valor supuesto y el valor obtenido; también se puede observar un corrimiento en la escala del tiempo, esto se debe a la energía necesaria para vencer la inercia del motor del extractor.

Para verificar como la frecuencia del motor sigue un perfil de velocidad real, es necesario analizar el funcionamiento del simulador; en la parte superior de la pantalla [Figura 6] se selecciona la ruta donde está cargada el perfil de velocidad que se quiere simular, este archivo debe corresponder a un texto plano separado por tabulaciones donde se correlaciona el tiempo contra la velocidad de aire. Después de seleccionar la ruta, se oprime en el botón cargar datos y de inmediato se muestra en la gráfica superior y se mostrará una advertencia indicando que se procederá a simular la información.

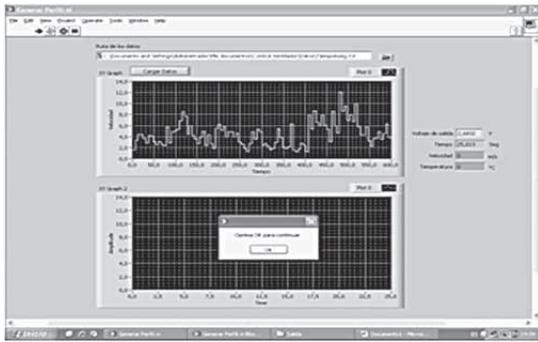
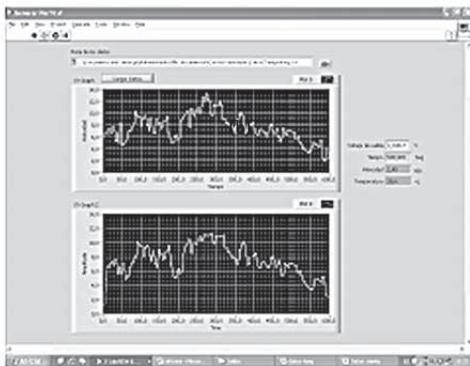


Figura 6. Funcionamiento del programa de simulación desarrollado.

Cuando se confirma esta petición, se inicia la simulación que compara el comportamiento del motor del extractor con el perfil de velocidad cargado a través del programa LabView; en la Figura. 7 se puede observar el programa funcionando y próximo a finalizar, la gráfica inferior se va actualizando constantemente y se puede comparar con los valores reales que se encuentran en la gráfica superior.



(a)



(b)

Figura 7. Seguimiento del motor del extractor el perfil de velocidad cargado en el programa de LabView. a) Muestreo cada 4 segundos y b) muestreo cada 6 segundos

Dentro de la misma pantalla, en la parte derecha, se actualiza constantemente los valores de voltaje de control, el tiempo transcurrido, la velocidad del viento y la temperatura. La Figura 7a y 7b muestran una buena correlación entre el comportamiento real del extractor de aire y el programa cargado a través de LabView.

En una segunda subrutina del programa [Figura. 8], se realizó una estrategia para recibir los datos provenientes del anemómetro ubicado en la zona de pruebas y transformarlos en un número que representa la velocidad del viento en ese instante. Para las pruebas realizadas se utilizó un puerto de comunicación RS-232 del PC para la captura de datos a través de un computador. El anemómetro envía cada segundo por el puerto serial información sobre la velocidad del viento y temperatura del mismo, estos datos son recibidos como una cadena de caracteres con cierto formato, donde se envía tanto información de los valores actuales de medición como información de la configuración del equipo. Por tal motivo es necesario manipular esta cadena y transformarlo a un número real teniendo en cuenta la configuración del equipo.

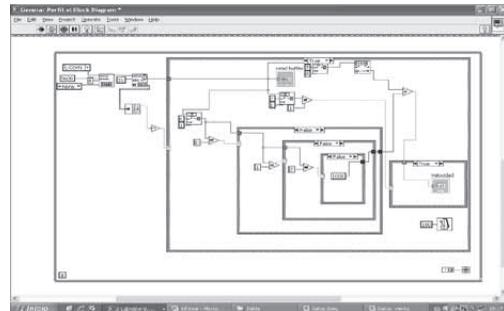


Figura 8. Esquema del programa desarrollado para adquirir los datos sensados por el anemómetro en la zona de pruebas del túnel de viento.

• **Pruebas Realizadas:** Después de haber desarrollado y probado todo el programa de simulación de variación de la velocidad del viento, se procedió a realizar pruebas del comportamiento final del sistema de simulación. Se ejecutaron tres ensayos para tiempos de muestreo de 4 y 6 segundos; el montaje realizado [Fig. 9] utilizó una tarjeta de adquisición de datos NI USB-6008, que maneja un puerto salida analógica de 0 – 5 V, lo que permitió hacer simulaciones hasta una velocidad máxima del viento de 12 m/s, originando un error en los picos más altos de los perfiles simulados.



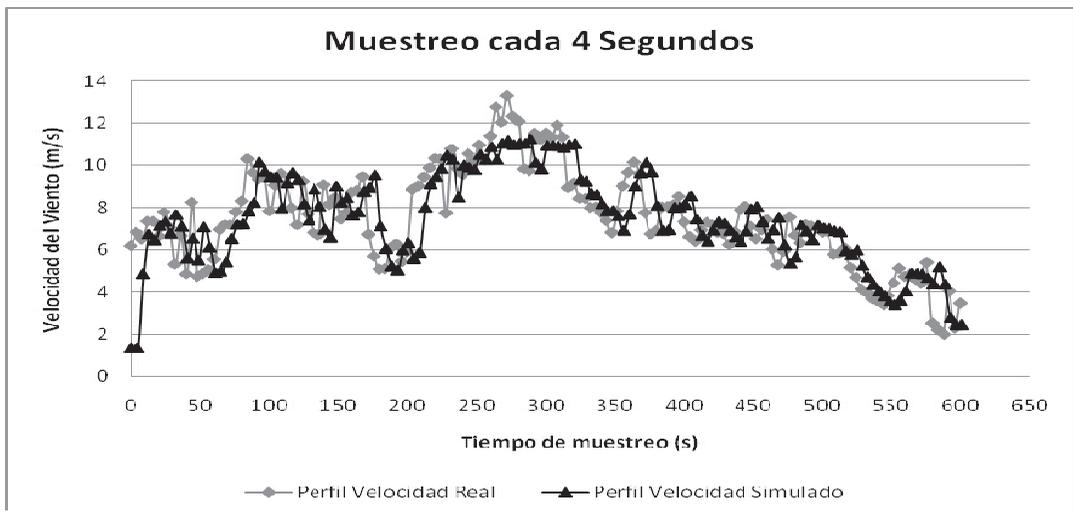
Figura 9. Montaje realizada para el desarrollo de las pruebas de simulación de velocidad de viento

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

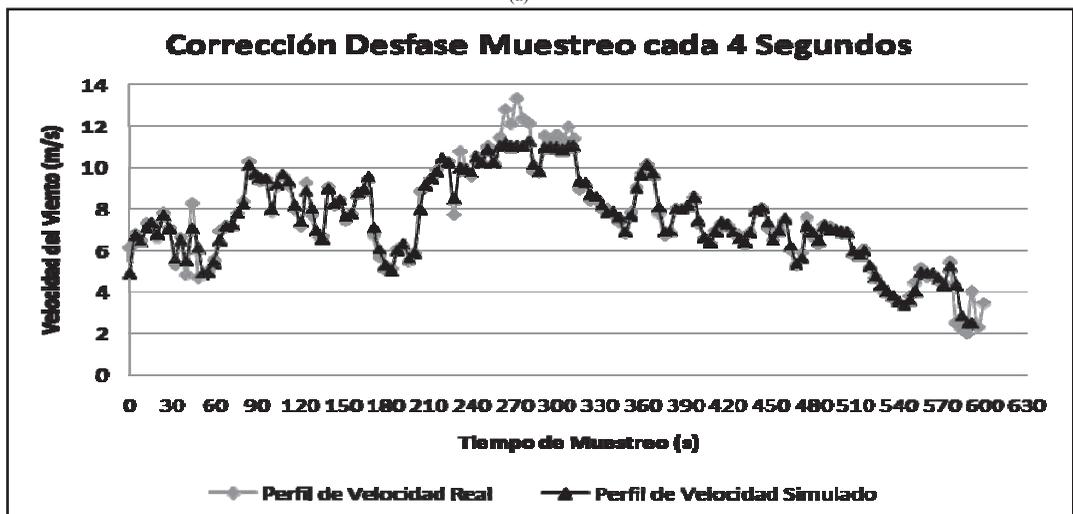
Después de realizadas las pruebas para intervalos de tiempo de 4 y 6 segundos, se obtuvieron las graficas del comportamiento de la simulación con respecto a los valores reales.

En la Figura 10a se observa una variación en la amplitud entre el valor real y el simulado; además de un desfase en cuanto al tiempo de muestreo, este retraso es corregido en la Figura 10b y arroja un valor de 8.965 segundos.

El valor promedio de la velocidad real para este condición de muestreo es 7.49 m/s, con una desviación estándar de 2.31 m/s; el tiempo de muestreo fue 600 segundos y presenta un rango entre 1.98 y 13.31 m/s.



(a)



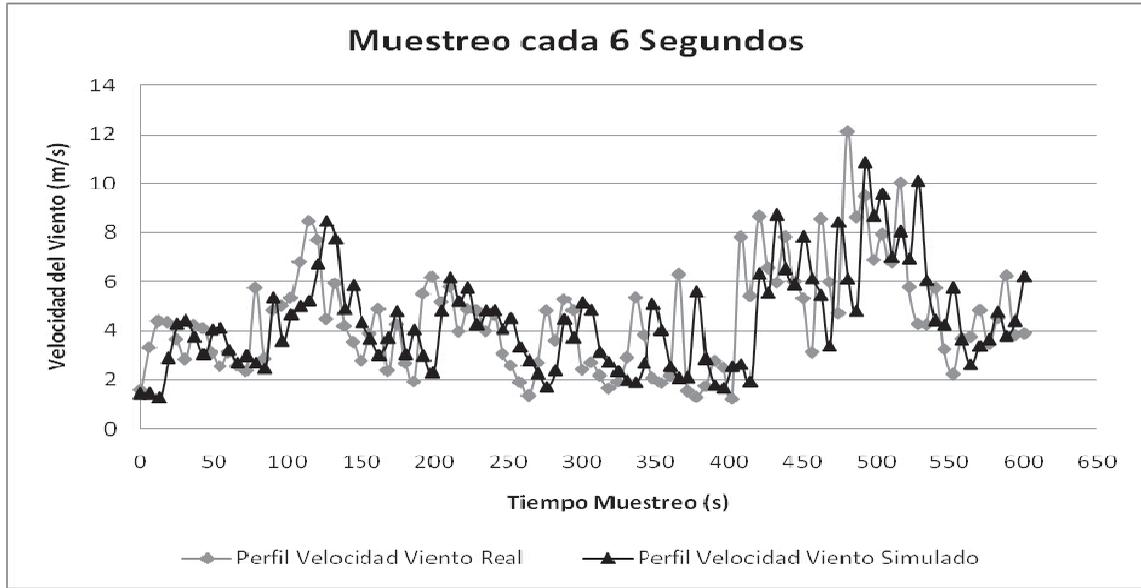
(b)

Figura 10. Resultados de la Simulación de un perfil de velocidad de viento sensado cada 4 segundos. a) Con desfase de tiempo y b) Sin desfase de tiempo

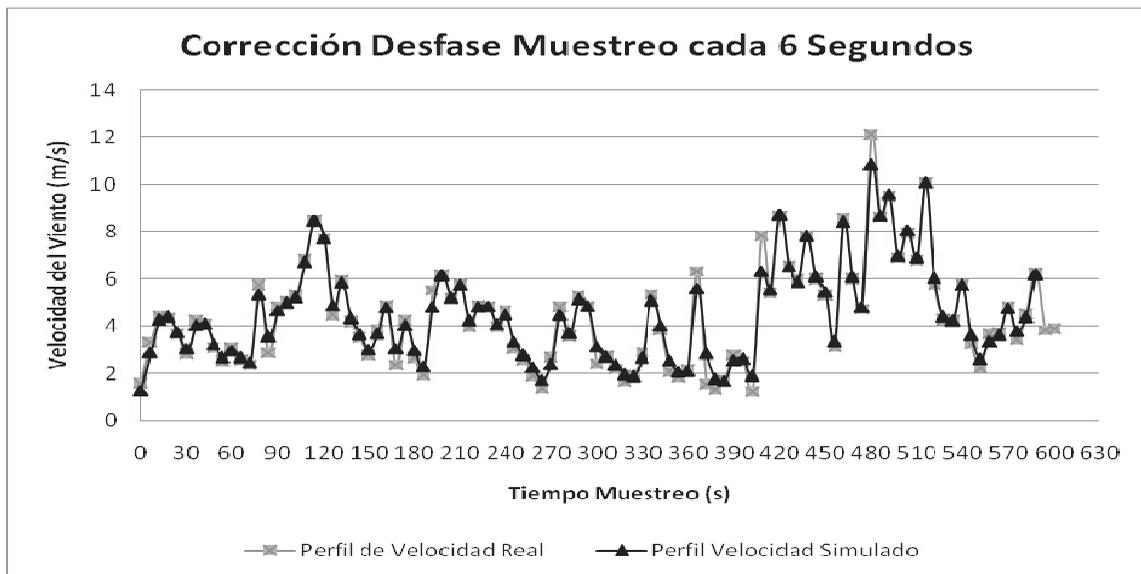
El promedio de error de los datos simulados con respecto a los valores reales fue 3.84%, con una desviación estándar de 8.04%, lo que representa una buena simulación del perfil de velocidad. El retraso en el tiempo de los datos simulados con respecto a los reales se debe a la inercia del extractor y al espacio existente entre este y el instrumento de medición.

En la Figura 11a se observa una variación en la amplitud entre el valor real y el simulado; además de un desfase en cuanto al tiempo de muestreo, este retraso es corregido en la Figura 11b y arroja un valor de 12.71 segundos.

El valor promedio de la velocidad real para esta condición de muestreo es 4.45 m/s, con una desviación estándar de 2.14 m/s; el tiempo de muestreo fue 600 segundos y presenta un rango entre 1.24 y 12.13 m/s.



(a)



(b)

Figura 11. Resultados de la Simulación de un perfil de velocidad de viento sensado cada 6 segundos. a) Con desfase de tiempo y b) Sin desfase de tiempo

El promedio de error de los datos simulados con respecto a los valores reales fue 7.7%, con una desviación estándar de 11.74%, lo que representa una buena simulación del perfil de velocidad. El retraso en el tiempo de los datos simulados con respecto a los reales se debe a la inercia del extractor y al espacio existente entre este y el instrumento de medición.

IV. CONCLUSIONES

Las simulaciones de perfiles de velocidades de viento mediante la utilización de un variador de velocidad electrónico y un programa desarrollado en LabView, permite obtener una exactitud promedio de 96.16% y 92.3% para tiempos de muestreo de 4 y 6 segundos respectivamente.

Las graficas de los valores simulados presentaron un desfase de tiempo con respecto a los valores reales de 8.965 y 12.71 segundos para tiempos de muestreo de 4 y 6 segundos respectivamente, esto se debe a la inercia de arranque del extractor de aire y al espacio recorrido por el flujo antes de ser sensado en la cámara de pruebas del túnel de viento.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, por facilitar los recursos requeridos para la construcción y pruebas del equipo de simulación del viento; de la misma manera al Ing. Santiago Butnarú Puyana y a los alumnos integrantes del semillero de CAD – CAE de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

BIOGRAFÍAS

Alfonso Santos Jaimes, Ingeniero Mecánico de la Universidad Industrial de Santander y Magíster en Ingeniería Mecánica de la Universidad de Los Andes. Docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica en las áreas de Materiales, Diseño de Maquinaria y Sistemas de Calidad. Las líneas de Investigación están orientadas al desarrollo y adaptación de maquinaria, energías renovables y nuevos materiales.



Edwin Córdoba Tuta, Ingeniero Mecánico de la Universidad Industrial de Santander y Especialista en Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Industrial de Santander. Docente de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Pontificia Bolivariana en las áreas de Termofluidos y Automatización.



REFERENCIAS

- [1] Jirí, Klemes; Igor, Bulatov y Jaap Koppejan. Novel energy saving technologies evaluation tool. *Computer and Chemical Engineering* 33. pp 751 – 758. 2009
- [2] Boyle, Godfrey. *Renewable energy power for a sustainable future*. Oxford: The Open University, 1996.
- [3] Asociación Latinoamericana de Energía Eólica. Guadalajara – México. Disponible en: www.lawea.org/index_esp.php [consultado en Enero 2009].
- [4] Small Wind Turbines. *The unsung heroes of the wind Industry*. Refocus Volume 3, Issue 2, March – April 2002, Page 30.
- [5] Wittwer, A.R. Análisis experimental de las características del escurrimiento turbulento en la capa límite de un túnel de viento. Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, UNNE, Resistencia (Chaco); Argentina 1997.
- [6] Wittwer, A.R., Möller, Sergio V. Characteristics of the low-speed wind tunnel of the UNNE. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 84. pp 307 – 320, 2000.
- [7] Moran J. *An introduction to theoretical and computational aerodynamics*. Editorial Jhon Wiley & Sons. New York 1984.
- [8] Laín S., Jaramillo H. E., Quintero M. V. Diseño aeromecánico de aerogeneradores eólicos de eje horizontal (HAWT's). En: *El hombre y la Máquina*, Volumen 23. Julio – Diciembre 2004.
- [9] Caracterización de los recursos eólicos. Cargas sobre el rotor de una turbina y Análisis de Fatiga. En <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/inicio.htm>. Consultado en Junio de 2008.
- [10] Galludo M.G. *Energía Eólica*. Editorial Artes Gráficas S.L. República de Argentina 1987

