

1. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

Código:	CIDII-030613
Centro de Investigación:	CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA
Programa:	Energías Renovables
Título del Proyecto:	CARACTERIZACIÓN SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL FLUJO DEL VIENTO EN EL PARQUE EÓLICO VILLONACO UBICADO EN LA PROVINCIA DE LOJA - ECUADOR
Grupo de Investigación:	Grupo de Investigación en Energía
Area de Conocimiento:	Ciencia y Tecnología
Línea de Investigación:	Optimización de energías y energías
Tipo de Investigación:	Aplicada
Campo :	Tecnologías
Investigador Principal :	FRAN ZHOVANI REINOSO AVECILLAS
Proyectos Vinculados :	
Duración del Proyecto :	12 Meses
Localización del Proyecto :	Villonaco - Loja - Ecuador
Fecha de ingreso :	02/10/2013 18:19

2. ANTECEDENTES

El uso de la energía eólica se remonta a la edad antigua; documentación que data desde el siglo VI d.c. dan cuenta del uso de la energía eólica como medio de locomoción, en la molienda de granos y el bombeo agua. En el siglo XIV, los holandeses tomaron el liderazgo en el mejoramiento de los molinos y comenzaron a utilizarlos extensivamente en el control de inundaciones. A fines del siglo XV se construyeron los primeros molinos de viento para la elaboración de aceites, papel y procesar la madera. En Dinamarca, al finalizar el siglo XIX, los molinos eran utilizados en viviendas, granjas y con fines industriales, suministrando una potencia equivalente a 200 MW.

En la misma época; en otras regiones del mundo la aparición de alternativas más baratas de abastecimiento energético hizo que paulatinamente los aerogeneradores, fueran reemplazándose por máquinas térmicas o motores eléctricos haciendo que el uso del recurso eólico quedase relegado a satisfacer necesidades puntuales en medios rurales, sin ninguna participación en el mercado energético. Al final del siglo XX se empezó a tomar conciencia de los efectos del calentamiento global debido a la quema de hidrocarburos y se pensó en la necesidad de desarrollar nuevas formas de producción energética limpias y renovables; volviendo a considerar la energía eólica como alternativa.

En la actualidad; la energía eólica está en constante desarrollo y es una de las fuentes de energía renovable con mayor implantación a nivel mundial; representando en el 2009 aproximadamente el 2 % del consumo de electricidad a nivel mundial. Europa aporta con el 75 % de la energía eólica en el planeta, siendo el mayor productor Alemania con 25030 MW. El país con mayor desarrollo en energía eólica es EEUU con 32919 MW instalados, cifra equivalente al 1.9 % de la demanda total de electricidad de este país.

En América Latina, se está presentando un crecimiento considerable vinculado a la energía eólica a razón de 1.500 MW por año. El país donde más se está desarrollando esta energía es Brasil; al final de 2010, producía 930 MW de energía eólica; además, tiene en marcha proyectos en desarrollo por más de 4.000 MW para el 2013.

En el Ecuador; la actividad eólica está empezando a desarrollarse, a la fecha existen 2 proyectos eólicos implementados; para el 2012 se cuenta con un mapa del potencial eólico de país de 884.77 MW de los cuales aproximadamente 520 MW están disponibles en la provincia de Loja al sur del Ecuador. En este sentido, el gobierno central, con el objeto de alcanzar la soberanía energética y diversificar la matriz energética, ha definido 45 proyectos denominados estratégicos y 8 de estos son considerados como emblemáticos, dentro de estos últimos se encuentra el Proyecto Eólico Villonaco. A mediano plazo existe la posibilidad de construir centrales eólicas, Membrillo, Ventanas, Santiago y Chinchas, con un factor de planta de aproximadamente 50%, asegurando una potencia instalada de más de 200 MW.

El Ministerio de Electricidad, la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) y la empresa China, Xinjiang Goldwind Science and Technology Co. Ltda, firmaron el contrato para la construcción del proyecto y tiene una inversión de 41 millones de dólares. Con el inicio de las operaciones se podrá contribuir aproximadamente con el 23.4 % de la demanda del área de servicio de la Empresa Eléctrica Regional Sur que comprende las provincias de Loja y Zamora Chinchipe, que permitirá afrontar problemas derivados al suministro de energía debido a la inestabilidad de las estaciones verano-invierno de la región; así como, reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera 35270 toneladas por año de gases efecto invernadero a la atmósfera.

El proyecto eólico Villonaco se encuentra ubicado en la provincia de Loja a 2720 metros de altura sobre el nivel del mar, con velocidades de viento promedio de 12,5 m/s; se han instalado once aerogeneradores tripala de eje horizontal de 1.5 MW de potencia; con una altura de buje de 60 m, y una capacidad de generación total del parque de 16.5 MW; busca cubrir el 70% de la demanda energética de Loja, con una producción de 59 Gwh/año. A la fecha el proyecto tiene un avance del 83.84%, y se continúa con las actividades de calibración y puesta a punto de los aerogeneradores y demás equipos.

3. JUSTIFICACIÓN

La toma de conciencia sobre la agotabilidad de los recursos energéticos no renovables, la creciente preocupación por el impacto sobre el medio ambiente, en particular por el efecto invernadero debido a la quema de combustibles fósiles, y los altos precios del petróleo en la actualidad, han hecho necesaria la búsqueda de nuevas alternativas de suministro energético, resurgiendo el interés por el recurso eólico; que antes estaba relegado a satisfacer necesidades puntuales, sin ninguna participación en el mercado energético.

Los logros alcanzados en la investigación y desarrollo en las tecnologías de producción de turbinas eólicas, han hecho que, en el presente, el recurso eólico haya dejado de ser una alternativa de abastecimiento para convertirse en una realidad. Las turbinas eólicas son hoy una opción más en el mercado de la generación eléctrica; siendo una atractiva fuente de generación que produce grandes ahorros y cuya inversión es recuperable en el corto o mediano plazo. Incluso a gran escala la energía eólica es competitiva frente a fuentes convencionales de energía como la hidráulica y la térmica. En Ecuador en la última década, las energías renovables han venido evolucionando de manera notable principalmente en el sector eléctrico, debido al cambio de la matriz energética del país como política de estado. Por este motivo se ha implementado proyectos de generación de electricidad por medio de energías renovables contando a la fecha con 8 proyectos emblemáticos en proceso de implementación; dentro de los cuales se encuentra el Proyecto Eólico Villonaco, ubicado en la provincia de Loja al sur del país.

El proyecto eólico Villonaco, será el más grande en su clase en el Ecuador, y quizá en todo el mundo; debido a

que se constituye en un parque eólico de altura, por estar ubicado aproximadamente a 2,720 metros sobre el nivel del mar y además se encuentra emplazado en un terreno complejo. Por tal razón, es necesario realizar estudios que permitan un conocimiento más amplio de las características de operación de este tipo de parques eólicos operando en condiciones extremas, de los cuales hasta la fecha no se tiene conocimiento exacto.

Por otro lado; los estudios para la determinación del potencial eólico de la zona del Villonaco, ha sido posiblemente un proceso intermitente, en particular en lo referente al proceso de medición de datos de viento. Como resultado de este proceso se cuenta con la curva de potencia de los aerogeneradores emitida por el fabricante. Sin embargo no se cuenta con una información amplia del proceso diseño preliminar y final del parque, lo que hace necesario realizar nuevamente la caracterización, simulación y análisis del flujo de viento en la zona del cerro Villonaco; para de esta manera disponer de información técnica y elementos de juicio para plantear alternativas de mejora en la operación general del parque, más aún cuando al momento el proyecto se encuentra en la fase de pruebas.

Por lo expuesto anteriormente; en vista que es un proyecto que está empezando a operar es de suma importancia validar los datos de producción total del parque; comparando los datos experimentales de operación real, contra los resultados de un proceso de simulación mediante software especializado CFD y los datos emitidos por el fabricante del equipo. Con la finalidad de que esta información, producto del análisis de los resultados obtenidos sirva además de insumo para validar y certificar conforme a normas internacionales la curva de potencia del parque eólico Villonaco.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Caracterizar, simular y analizar el flujo del viento en el Parque Eólico Villonaco para determinar sus condiciones de operación.

4.2 Objetivos Especificos

- 1 ¿ Analizar el potencial eólico del viento y la orografía de la zona de emplazamiento del Parque Eólico Villonaco.
- 2 ¿ Caracterizar y simular el flujo del viento del Parque Eólico Villonaco mediante software especializado en la dinámica de los fluidos (CFD).
- 3 ¿ Realizar la validación y el análisis de los resultados obtenidos de la simulación con los datos experimentales y de operación real del proyecto eólico Villonaco.

5. ESTADO DEL ARTE

La energía eólica es un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar la energía generada en centrales termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde; sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

Para la instalación de parques eólicos existen dos posibilidades, parques eólicos marinos y parques eólicos sobre el terreno. Los parques marinos tienen la ventaja de la ausencia de obstáculos, pero sobre ellos pesa mayores costos de instalación y mantenimiento así como el transporte de energía eléctrica. Por el contrario los parques eólicos instalados sobre el terreno tienen la desventaja de la presencia de obstáculos que disminuyen el potencial eólico y aumentan la turbulencia.

1. El Flujo sobre colinas.

La rugosidad superficial o vegetación y la estabilidad atmosférica tienen efecto sobre la capa límite atmosférica; pero una de las influencias más importantes en la capa límite atmosférica es el efecto de la topografía del terreno. La topografía del terreno puede provocar aceleraciones, deceleraciones, zonas de recirculación, separación etc., con su correspondiente influencia en la intensidad de turbulencia.

Una de las principales ventajas de los terrenos complejos es que en la parte alta de las colinas la velocidad del viento se acelera lo que convierte a estas zonas en muy zonas interesantes para la ubicación de un parque eólico por su mayor potencial. Por estas razones el conocimiento profundo de las características de velocidad y turbulencia del flujo sobre colinas es de gran interés, debido a que en este campo es donde se ubica el presente trabajo.

Una revisión actual del conocimiento de flujo sobre colinas se puede consultar en Wood [2000], en donde los investigadores presentan modelos teóricos de la estructura del flujo de viento y de las estadísticas de la turbulencia sobre colinas de baja pendiente. El modelado de una colina en solitario ayuda al entendimiento de cómo una tipología simple afecta al flujo del viento, mientras que el modelado de combinaciones de colinas ayuda a conocer mejor el efecto del terreno real sobre el perfil del viento.

Los modelos matemáticos para el estudio del flujo de viento sobre lomas, hacen uso de lomas estándar de

comportamiento senoidales siguiendo la siguiente fórmula:

Para el análisis, se definen un número determinado de lomas en función de la relación H/L, siendo H la altura de la loma y L la longitud de la loma.

2. Modelos de turbulencia

Existe un gran número de modelos de turbulencia que van desde la viscosidad turbulenta hasta modelos de segundo orden que simulan los efectos de cada esfuerzo de Reynolds sobre el fluido. Estos modelos no modelizan la turbulencia misma, lo que intentan es ver los efectos que la turbulencia tiene sobre el flujo medio, un buen análisis de los diferentes modelos de turbulencia con aplicaciones en energía eólica se pueden encontrar en Easom [2000].

¿Modelo de turbulencia k- ϵ : Las pequeñas escalas de turbulencia se pueden caracterizar por dos números, la energía de disipación por unidad de masa y la viscosidad cinemática.

¿Modelo de turbulencia k- ϵ RNG: Es una alternativa al modelo estándar, los detalles se pueden encontrar en Sukoriansky et al. [2003]. Las ecuaciones de transporte para la generación y disipación de la turbulencia son las mismas que en el modelo estándar, pero el modelo difiere en la definición de la constante $C_{\epsilon 1}$ que se combina con $C_{\epsilon 1RNG}$ del modelo.

¿Modelos de turbulencia k- ϵ : Se desarrollo inicialmente para la industria aeroespacial, donde la separación del flujo es importante, k sigue siendo la energía cinética turbulenta, mientras que el término ϵ se sustituye por el término ϵ que es la tasa de disipación por unidad de energía cinética en lugar de por unidad de masa.

¿Large Eddy Simulations (LES): El modelo LES se basa en un filtrado espacial de las ecuaciones de gobierno del fluido de tal manera que se resuelven computandose las grandes escalas (el movimiento turbulento de grandes remolinos), mientras que para escalas más pequeñas se asume un modelo que permite considerar de forma aproximada su influencia en la variación general de los parámetros del flujo.

En el estudio realizado por Bechmann y Sorensen [2010] se plantea la utilización de un modelo híbrido RANS/LES (Reynolds-averaged Navier-Stokes y Large Eddy Simulation) para simular el flujo del viento sobre un terreno complicado; se hace uso de LES en la parte superior y de RANS en la zona en contacto con la superficie donde es necesario ir con más detalle en cuanto a la turbulencia. RANS trabaja con cantidades medias, mientras que LES trabaja con cantidades filtradas, ambos métodos hacen uso del modelo turbulento k- ϵ , la única diferencia es la longitud característica que utilizan cada uno de ellos, el paso de uno a otro está controlado por la escala de la turbulencia. Este modelo híbrido se resuelve en una única malla las ecuaciones de transporte.

En el estudio se pone de manifiesto que el método RANS y el híbrido dan los mismos resultados en terrenos sencillos, pero en terrenos complicados el método RANS predice correctamente la velocidad media pero subestima el valor de la turbulencia, mientras el método híbrido captura los altos valores de turbulencia pero subestima la velocidad media.

6. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este proyecto se va a recurrir a la recopilación de la información de investigaciones realizadas en las universidades, de artículos científicos que se hayan desarrollado en relación al tema, obtención de datos de campo, y estudio de acuerdo a las siguientes fases:

- Revisión bibliográfica.
- Elaboración de base de datos de temas relacionados.
- Profundización del tema aplicado a energía eólica.
- Analizar y caracterizar las muestras en torno al tema de investigación.
- Analizar los resultados obtenidos en el estudio.
- Elaborar una base de datos de los resultados.
- ¿ Difusión de resultados.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] FERNÁNDEZ SALGADO, José M. Guía Completa de la Energía Eólica, Ed. A. Madrid Vicente, 2011.
- [2] CRESPO, Antonio. Mecánica de fluidos. Ed. Thomson, 2006.
- [3] WHITE, F. Mecánica de fluidos. Ed. Mc-Graw Hill, 2008.
- [4] STREETER, Victor L./Wylie E. Benjamin/Bedford, Keith W. Mecánica de Fluidos, 9ª Ed. Santafé de Bogotá. McGraw Hill, 1999.
- [5] Wilcox, D.C. Turbulence modeling for CFD. La Canada, California, USA. DCW Industries Inc. 1994.

- [6] Wood, N. 2000. Wind flow over complex terrain: A historical perspective and the prospect for large eddy modeling. Boundary-layer meteorology. Vol. 96, pp. 11-32.
- [7] D. Cabezón, J. Sanz, I. Martí, A. Crespo ¿CFD modelling of the interaction between the Surface Boundary Layer and rotor wake¿ Publicado en Proceedings. European Wind Energy Conference (EWEC), 2009
- [8] Crespo, A., Hernandez, J., Frandsen, S. 1999. A survey of modelling methods for wind turbine wakes and wind farms. Wind Energy, Volume 2, Issue 1, pages 1¿24.
- [9] Easom, G. 2000. Improved turbulence models for computational wind engineering. Civil Engineering. Nottingham, University of Nottingham.
- [10] El Kasmi, A., Masson, C. 2008. An extended k-¿ model for turbulent flow through horizontal-axis wind turbines. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96 103¿122
- [11] El Kasmi, A., Masson, C. 2010. Turbulence modeling of atmospheric boundary layer flow over complex terrain: a comparison of models at wind tunnel and full scale. Wind Energy Volume 13, Issue 8, pages 689¿704, November 2010
- [12] Gómez-Elvira R., Crespo A., Migoya E., Manuel F., Hernández J. 2003. Anisotropy of turbulence in wind turbine wakes. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics; 93: 797¿814.
- [13] Griffiths A.D., y Middleton J.H. 2010. Simulations of separated flow over two dimensional hills. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 98 155¿160.
- [14] Jiménez, A., Crespo, A., Migoya, E. 2009 Application of a LES technique to characterize the wake deflection of a wind turbine in yaw. Wind energy, vol. 13, pp. 559-572.
- [15] Kim, H.G., Patel, V.C. 2000. Test of turbulence models for wind flow over terrain with separation and recirculation. Boundary-Layer Meteorology, 94, 5-21.
- [16] Sørensen, J.N., Shen, W.Z. 1999. Computation of Wind Turbine Wakes using Combined Navier-Stokes/Actuator-line Methodology. Proc. European Wind Energy Conference EWEC '99, 56-159, Nice.
- [17] <http://www.mer.gov.ec/> Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).
- [18] <http://www.conelec.gov.ec/> Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).
- [19] <http://www.fluent.com/worldwide/spain/services/index.htm>
- [20] <http://www.enersurep.gob.ec/> Empresa Provincial de Energías Alternativas y Desarrollo Humano.

8. RESULTADOS ESPERADOS

- Documento de datos del flujo del viento y de la orografía de la zona.
- Documento en donde se establece el modelo matemático para realizar la simulación numérica del flujo del viento.
- Documento con datos experimentales y de operación.
- Documento de análisis y comparación de los resultados.
- Documento de resumen, datos, resultados y propuestas de mejoras.

9. TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y/O SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

La transferencia de tecnología como los resultados obtenidos en esta investigación son de importancia para el sector eólico, y también en el manejo de programas especializados en dinámica de fluidos. Para transferir esta tecnología y los resultados obtenidos se prevén las siguientes acciones:

- ¿ Publicar los resultados intermedios en la página web del CIDII durante el avance del proyecto.
- ¿ Presentar el proyecto final a una red de investigadores en energía para alimentar la base de datos en cuanto a estudio de la operación de parques eólicos.
- Elaboración de propuesta de convenio con Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Centros de Investigación.
- Publicar un artículo en la Revista Ingenius del Área de Ciencia y Tecnología de la UPS
- Enviar para publicación el artículo científico del proyecto en revistas indexadas dentro y fuera del país

10. IMPACTOS DEL PROYECTO

Académico: Incursionar de manera eficaz con temas de desarrollo acerca del medioambiente, energías renovables y el manejo de software especializados en dinámica de fluidos.

Científico: Posibilidad de establecer proyectos de investigación que fortalezcan el estudio del rendimiento y operación de parques eólicos.

Tecnológico: Conocer los avances tecnológicos establecidos dentro del campo de la energía eólica, su aprovechamiento y aplicación.

Ambiental: Establecer las condiciones óptimas de aprovechamiento del viento para minimizar el impacto debido a la operación de proyectos eólicos.

11. INFORMACIÓN DE COFINANCIADORES (en caso de que existieran)

