

# ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA ENERGÍA EOLICA: VENEZUELA Y EL MUNDO.

F.M. González-Longatt, PhD, SMIEE

The University of Manchester, School of Electrical & Electronic Engineering  
 Ferranti Building C14, Sackville Street, Manchester M60 1QD, United Kingdom  
 e-mail: francisco.gonzalez-longatt@manchester.ac.uk

**RESUMEN:** Estadísticas recientes indican que la capacidad instalada de energía eólica de todo el mundo alcanzó 159.213 MW, de los cuales 38.312 MW se añadieron en 2009. De igual modo la energía eólica mostró una tasa de crecimiento del 31,7%, la tasa más alta desde 2001. En consecuencia, la energía eólica posee una tendencia a que la capacidad eólica instalada se duplica cada tres años. El impacto de esta tecnología de producción de electricidad cada día es mayor y los profesionales del futuro deben estar preparados para prevenir los efectos negativos del mismo. El objetivo de éste artículo es presentar los conceptos básicos asociados a la energía eólica y una visión muy general sobre el panorama mundial y en contexto Venezolano.

**PALABRAS CLAVE:** Generación eólica, granjas eólicas, sistemas de conversión de energía del viento, turbinas de viento.

## 1 INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha visto el crecimiento en la implementación y viabilidad económica de la tecnología de conversión de energía proveniente de los vientos. Este es una fuente segura y abundante de energía limpia y renovable, la cual está haciendo una significativa contribución al suministro de energía a nivel mundial [1].

El Mercado mundial de la generación de electricidad de la energía contenida en el viento otra vez se desarrolló muy dramáticamente en el año 2009. 38.312 MW de nueva capacidad fueron agregados en el año 2009, marcando un nuevo record – en 2008 fueron agregados 26.973 MW (ver Figura 1).

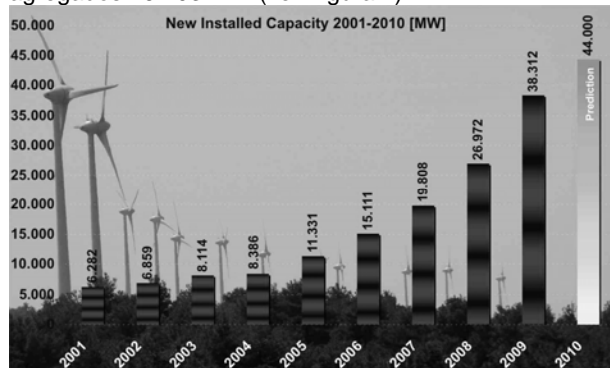


Figura 1. Nueva capacidad instalada de energía eólica a nivel mundial en MW [2].

La energía eólica mostró una tasa de crecimiento del 31,7%, la tasa más alta desde 2001 [2]. La tendencia continuó diciendo que la capacidad eólica se duplica cada tres años. Todos los aerogeneradores instalados a finales de 2009 en todo el mundo están generando 340 TWh por año, equivalente a la demanda total de electricidad de Italia, la séptima economía más grande del mundo, y equivale a 2% del consumo mundial de electricidad [2].

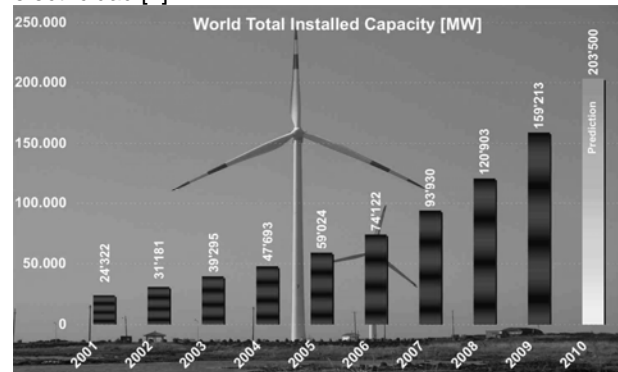


Figura 2. Capacidad instalada de energía eólica a nivel mundial en MW [2].

China continuó con su papel de locomotora de la industria eólica internacional y añadió 13.800 MW plazo de un año (como el mayor mercado de nuevas turbinas), más del doble de las instalaciones por cuarto año consecutivo [1].

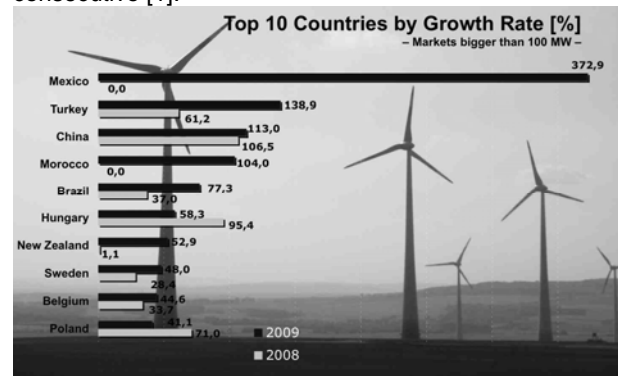


Figura 3. Estadística de los diez países con mayor tasa de crecimiento en capacidad instalada de energía eólica a nivel mundial en MW [2].

Los EE.UU. mantuvo su posición número uno en términos de capacidad total instalada y China se convirtió en número dos de la capacidad total, sólo un

poco por delante de Alemania, ambos con alrededor de 26.000 megavatios de capacidad eólica instalada.

Asia representa la mayor parte de las nuevas instalaciones (40,4%), seguida por América del Norte (28,4%) y Europa retrocedió al tercer lugar (27,3%) [2].

América Latina ha demostrado estimular el crecimiento y más que duplicó sus instalaciones, debido principalmente a Brasil y México.

A la capacidad eólica total de 200.000 megavatios se superen en el año 2010 (ver Figura 2).

Venezuela por su parte tiene una larga historia en términos de su interés en el desarrollo de energías alternativas [3]. En el año 1970 la Compañía Anónima de Administración y Fomento Eléctrico (CADAFE), una de las más importantes empresas en Venezuela, dio a conocer su intención en producir electricidad empleando "fuentes no tradicionales", incluyendo carbón, nuclear, geotérmica y solar. Desafortunadamente estos proyectos pilotos fueron abandonados debido a la crisis económica del año 1983. A pesar de esto, fueron propuestos métodos para promover el uso de las energías alternativas, estos van desde los planes gubernamentales para concretar asociaciones entre académicas e industriales, pero estos se limitaron solo a proyectos pilotos [4].

Este intento promoción de las fuentes alternas de energías fue un adelanto del primer encuentro nacional energético en 1999, donde se decidió que existiendo una gran proporción de la generación hidroeléctrica, ésta debería ser complementado con otros tipos de fuentes de energía. El propósito de esto era implementar el proyecto piloto conocido como Plan Operativo de Energías Renovables (PODER) que en el 2004 dio forma al Programa de Energías Renovables (PER) [4] (Massabie, 2008). El PER fue lanzado con la creación de la División de Fuentes Alternativas (DFA) en conjunto con el Ministerio de Energías, y estaba encargado de tener metas más ambiciosas que PODER en orden de comprometer a los venezolanos en el Protocolo de Kyoto [3]. Como parte de sus obligaciones PER, se encaminó a promover las energías renovables para aplicaciones conectadas a la red y aisladas.

En la actualidad, tres proyectos de parques eólicos se están desarrollando en Venezuela, todos estos en las zonas costeras, el primero de ellos (Paraguana, estado Falcón) se prevé que inicie su operación en 2012 [3], [5].

En este artículo, se presenta los conceptos básicos asociados a la energía eólica y una visión muy general sobre el panorama mundial y en contexto Venezolano

## 2 RECURSO DEL VIENTO A NIVEL MUNDIAL

Cuando se considera la instalación de una granja de viento, la más característica importante es la velocidad del viento. Con una duplicación de la velocidad promedio del viento, la potencia en el viento se incrementa por un factor de ocho ( $2^3$ ), e inclusive pequeños cambios en la velocidad del viento pueden producir grandes cambios en el desempeño económico de la granja de viento [1]. Por la vía de un ejemplo, si la velocidad promedio del viento en un sitio dado incrementa desde 6 metros por segundo (m/s) a 10 m/s, el valor de energía producida por una granja de viento

se incrementará por encima del 130% [6]. Información detallada y confiable, acerca de cuan tan fuerte y desde cual dirección el viento sopla, y cuando lo hace, entonces es vital para cualquier prospectiva en el desarrollo de aplicaciones desde la potencia del viento.

Un acercamiento inicial del recurso del viento disponible en un sitio dado, involucra el estudio de los datos de las estaciones climáticas cercanas y programas computacionales especiales, los cuales permiten modelar el recurso eólico. Para ayudar en este proceso, atlas de viento, regionales, nacionales, y locales han sido producidos [1], [6]. Aunque los detalles varían de país a país, estos mapas muestran –en términos muy generales y toscos- la velocidad de viento promedio esperada en una región dada. Si el sitio es promisorio, mediciones mas detalladas son llevadas a cabo, a través de la erección de un mástil con anemómetros, portando un numero de dispositivos –anemómetros- para medir la velocidad del viento y la dirección del viento, los cuales son instalados a diferentes alturas del mástil. Las cuantificaciones del recurso son progresivamente refinadas por análisis de las restricciones, tales como la geografía localmente, economía, uso alternativo de la tierra, para llegar a un recurso disponible en forma práctica.

La explotación del recurso del viento en tierra firme para la Unión Europea (25 países) es estimada en forma conservadora en 600 TWh y el recurso del viento en aplicación fuera de bahía (off-shore) llega hasta 3000 TWh, esto excede en mucho el consumo entero de energía de la UE. El Atlas Europeo de Vientos (European Wind Atlas) producido por la Danish National Research Laboratory, Forskningscenter Risø, da una buena vista general de la potencia de la UE. Una versión a nivel global de muestra en la Figura 4.

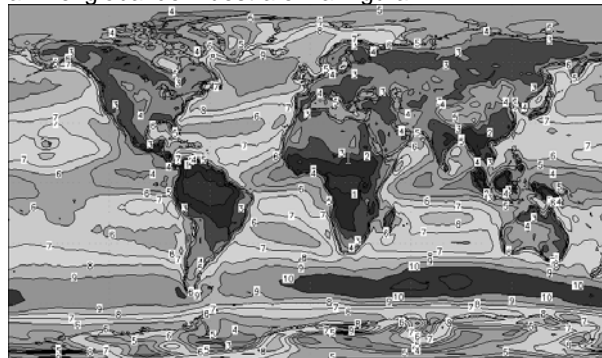


Figura 4. Velocidad del viento en m/seg, periodo 1975-1995 [7]

Aunque algunos países han estado yendo rápido, la mayoría de las naciones Europeas mantienen una gran proporción de los recursos del viento que esperan ser explotados. Hay también considerable potencia en los nuevos estados miembros de la UE y en Rusia.

## 3 RECURSO DEL VIENTO EN VENEZUELA

En los actuales momentos Venezuela no dispone de un mapa eólico oficial, que permite definir de manera clara y específica el recurso eólico que puede ser aprovechado para la producción de electricidad [5]. Sin embargo, varios esfuerzos han sido efectuados en este sentido por varios investigadores [8]-[11].

### 3.1 Mapa Eolico

En [3] se ha presentado un primer intento en efectuar un mapa eólico de Venezuela, en el mismo se han empleado dos Fuentes diferentes de información: (1) NASA Earth Science Enterprise (ESE) program's satellite and reanalysis research data [13]-[14], y las mediciones efectuadas en las estaciones meteorológicas pertenecientes al Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea [12] (ver Figura 5).

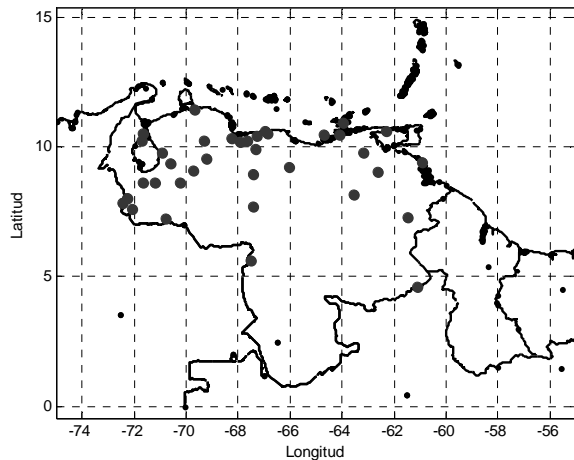


Figura 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas en Venezuela.

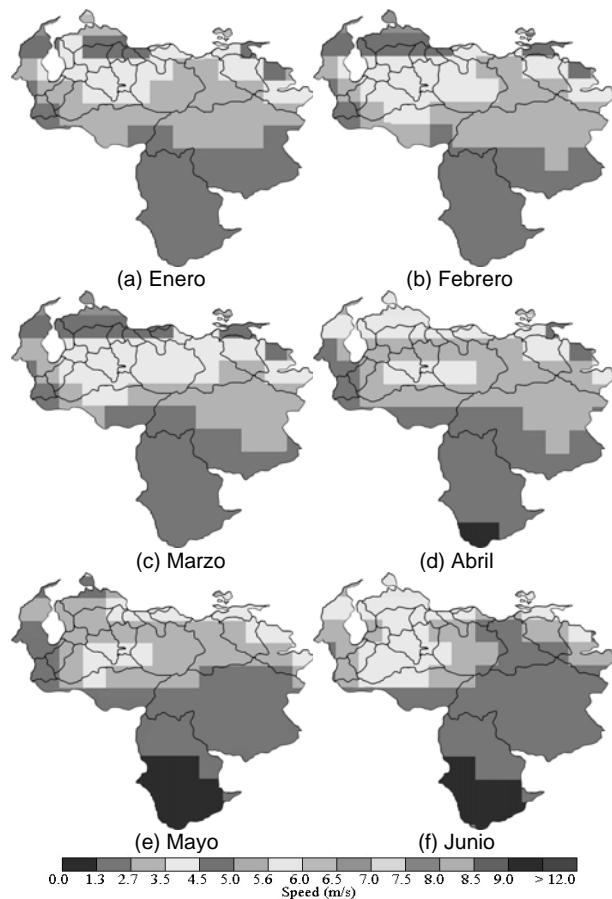


Figura 6. Velocidad promedio mensual del viento (en m/s) a 10m de Enero a Junio.

Resultados de este trabajo, se han logrado los mapas indicativos de la velocidad de viento promedio en Venezuela por cada mes (Figura 6 y 7). Enero y Julio resultan ser los meses con promedio diario de velocidad del viento mas alto (ligeramente mayor a 3m/s, vientos clase 3 @ 10 m).

Por otra parte para todos los meses del año, hay importantes diferencias en la velocidad promedio mensual entre los valores registrados en los estados localizado al Norte con respecto a los del Sur. De hecho, las velocidades de viento son superiores en el Norte respecto al Sur. Los estados ubicados al sur de Venezuela, a mas de 800 km de la costa, tal como el estado Bolívar o Amazonas, poseen las más bajas velocidades promedio del viento (entre 0 a 2.7m/s @10m) durante todo el año (ver Figura 8 y 9).

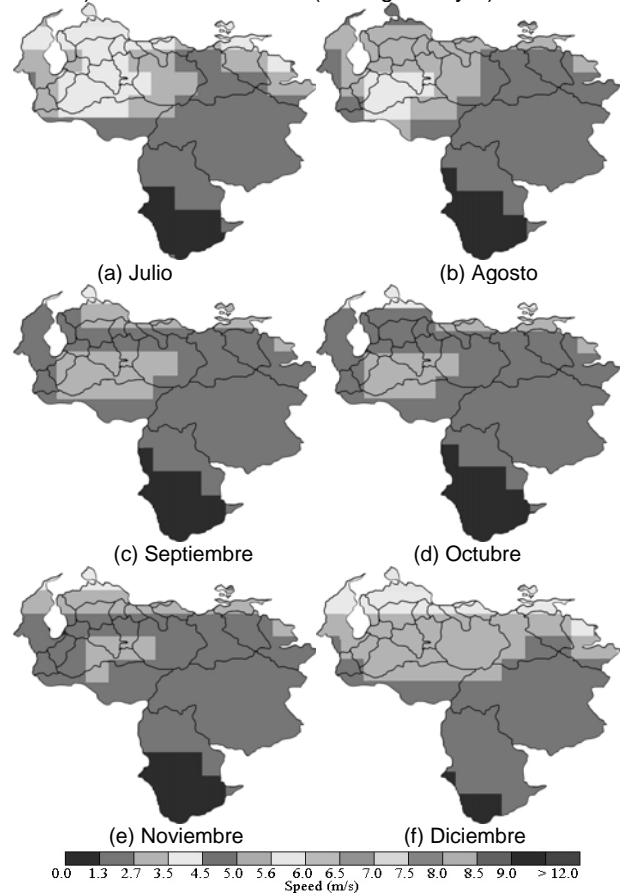


Figura 7. Velocidad promedio mensual del viento (en m/s) a 10m de Julio a Diciembre.

En la Tabla 1, se han incluido algunas de las localidades encontradas con mayor velocidad de viento (> 6m/s @ 50m), destaca que la ubicación de las mismas es mayoritariamente en la parte Norte del país en la zona costera.

El estado Falcón, Zulia y la región de Nueva Esparta (particularmente la Isla de Margarita), junto con todos los estados costeros ubicados en el norte de Venezuela exhiben las más altas velocidades promedio del viento (por encima de 5m/s, vientos clase 3 o 4 durante nueve meses, @ 10 m).

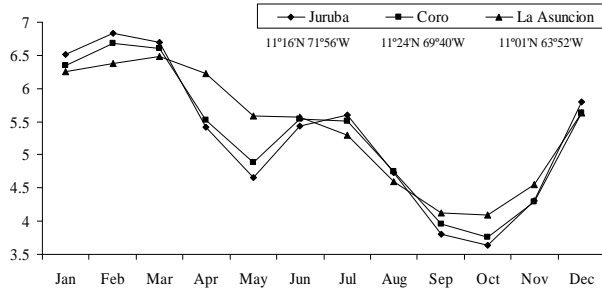


Figura 8. Velocidad promedio mensual del viento (m/s) at 10m sobre el suelo para tres lugares en el Norte de Venezuela.

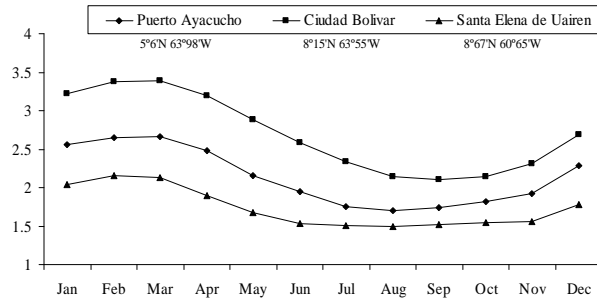


Figura 9. Velocidad promedio mensual del viento (m/s) at 10m sobre el suelo para tres lugares en el Sur de Venezuela.

Tabla 1. Velocidad del viento en algunos lugares de Venezuela (>6m/s @50m)

Nombre de la localidad	Longitud/Latitud	Velocidad promedio (m/s) @ 50m
Cabure	11° 08' N / 69° 38' W	6.18
Capatarida	11° 11' N / 70° 37' W	6.16
Coro	11° 25' N / 69° 41' W	6.18
La Asunción	11° 02' N / 63° 53' W	6.31
La Vela	11° 27' N / 69° 34' W	6.18
Pueblo Nuevo	11° 58' N / 69° 55' W	6.18
Puerto Cumarebo	11° 29' N / 69° 21' W	6.18
Punto Fijo	11° 42' N / 70° 13' W	6.16
San Juan de los Cayos	11°10' N / 68° 25' W	6.23
San Luis	11° 07' N / 69° 42' W	6.18
Paraguaipoa	11° 21' N / 71° 57' W	6.18

Resultados de una evaluación un poco mas detallada, considerando todas las variables meteorológicas de influencia sobre el recurso eólica para cada estado de Venezuela fue realizada en [3]. Por razones de espacio no es presentada en detalle aquí. Como ejemplo, se muestran los resultados de tres lugares, con clase de viento numero 4, los cuales son: Juruba (Zulia), Coro (Falcon), and La Asunción (Margarita Island), ver Figures 10, 11 y 12 respectivamente.

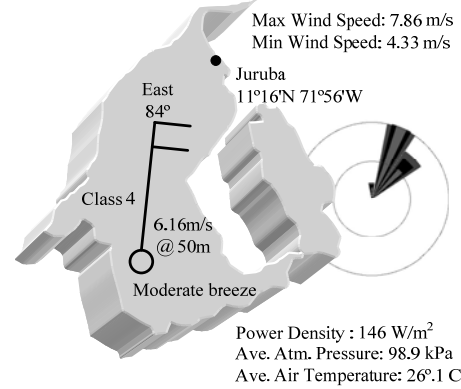


Figura 10. Resumen de los análisis de las variables meteorológicas asociadas al recursos eólico efectuado para Juruba, Zulia.

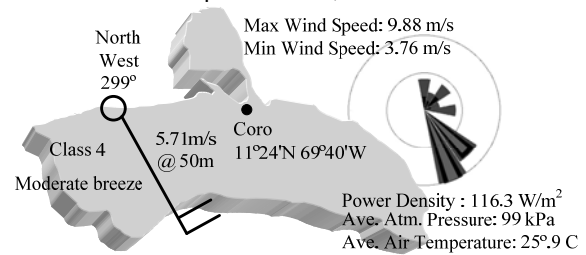


Figura 11. Resumen de los análisis de las variables meteorológicas asociadas al recursos eólico efectuado para Coro, Falcon.

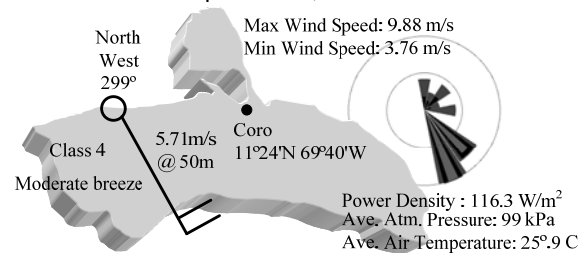


Figura 12. Resumen de los análisis de las variables meteorológicas asociadas al recursos eólico efectuado para Juruba, Zulia.

### 3.2 Evaluación Local

En [11] se ha efectuado una investigación del recurso eólico de localidades específicas en el territorio Venezolano, para ello se ha empleado las estaciones meteorológicas del Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea [12]. El comportamiento promedio del viento para 6 de las 34 estaciones en Venezuela han sido consideradas, estas estaciones están ubicadas en la región norte, la región central, la región sur así como el occidente y oriente del país. Las estaciones escogidas fueron Porlamar, Coro, Calabozo, Mérida, Puerto Ayacucho y Tumeremo.

La Figura 13 muestra además que las estaciones del norte como son Coro y Porlamar poseen vientos de promedios por encima de los 5 m/s a lo largo de todo el año. Las estaciones al centro y sur de Venezuela, poseen vientos promedios cercanos a los 2.5 m/s al igual que la estación del Occidente (Mérida) cuya velocidad promedio se muy influenciada por factores como la altura que aumenta la densidad del aire y disminuye la temperatura contando además efecto de

las brisas valle montaña generado por la Cordillera de los Andes.

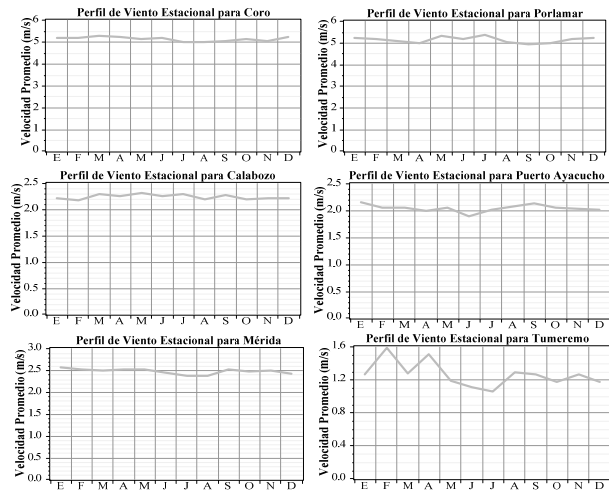


Figura 13. Promedio mensual de la velocidad del viento estacional para las estaciones meteorológicas de las distintas regiones de Venezuela

De la estación ubicada al este de Venezuela se resalta una pequeña disminución en la velocidad del viento a partir del mes de mayo cuando comienza la época lluviosa y aumenta nuevamente para las épocas de sequía.

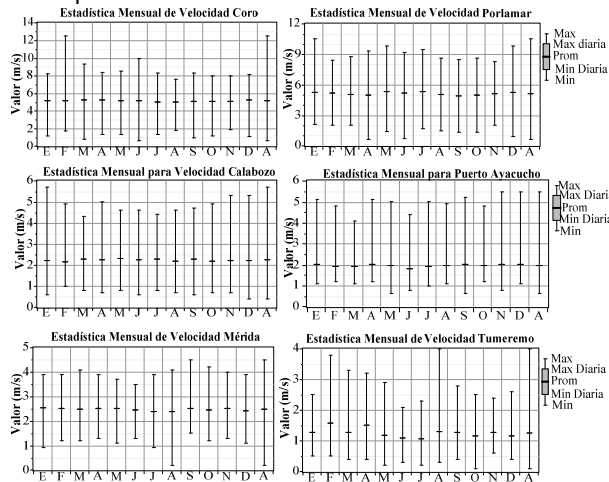


Figura 14. Velocidad de viento extremos en las estaciones meteorológicas de las distintas regiones de Venezuela

La Figura 14 muestra los vientos extremos promedios para las 6 estaciones antes mencionadas, de ellas se puede destacar que en el norte del país (Coro y Porlamar) los máximos llegan hasta valores de 13 m/s aproximadamente lo cual ocurre los primeros meses del año entre enero y marzo que coincide con los meses de sequía, las velocidades mínimas se encuentran cerca de 1 m/s y ocurre en los meses iniciales de la época lluviosa (mayo-junio). Para las regiones del centro y sur representadas por Calabozo y Puerto Ayacucho respectivamente, las velocidades del viento máximas alcanza los 5.5 m/s y las mínimas rondan los 0.5 m/s, al igual que en la región central las velocidades más altas se encuentran en los primeros y últimos meses del año en la época de sequía y las mínimas ocurren cuando comienza la época lluviosa.

Por último en la región del occidente (Mérida) y del Oriente (Tumeremo), las velocidades máximas ocurren en las épocas lluviosas y se encuentran los 5 m/s y las mínimas comienzan desde valores de 0.1 m/s que también coinciden con la época de lluvias en Venezuela.

Lo expuesto anteriormente deja entender que las zonas con mejores características de viento se encuentran ubicadas al norte de Venezuela y se ven influenciadas por las brisas de mar a tierra que durante la época de sequía son más fuertes que durante las épocas de lluvia, permitiendo así viento fuertes durante casi todo el año.

## 4 CONCLUSIONES

En este artículo se han presentado los conceptos básicos asociados a la energía eólica y una visión muy general sobre el panorama mundial y en contexto Venezolano. En particular para el caso Venezuela, se ha presentado una evaluación estadística descriptiva de la velocidad del viento, basado en mediciones locales, reales. Este análisis preliminar indica la existencia de cantidad suficiente en algunas localidades en el área norte de Venezuela, cercana a la costa, que son aptas para la explotación de la energía eólica para la producción de electricidad a escala comercial. Estas favorables características de viento se encuentra mayormente en localidades cercanas a la costa donde la influencia de las brisas mar y tierra dan las condiciones ideales de velocidad y la influencia de los vientos noreste-suroeste prevalece la mayor parte del tiempo.

## 5 REFERENCIAS

- [1] F. González-Longatt. "Turbina de Viento: Caracterización de Operación". *II Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Computación, II CIBELEC 2006*. Puerto La Cruz, Venezuela, Venezuela, 3-7 Abril 2006.
- [2] World Wind Energy Association, WWEA (online) Available at: <http://www.wwindea.org>
- [3] González-Longatt F., Méndez J., Villasana R., Peraza C. "Wind Energy Resource Evaluation on Venezuela: Part I". *Nordic Wind Power Conference NWPC 2006*, Espoo, Finland. 22-23 May, 2006.
- [4] Massabie G. "Venezuela: A Petro-State Using Renewable Energies - A Contribution to the Global Debate about New Renewable Energies for Electricity Generation". VS Verlag für Sozialwissenschaften. 2008.
- [5] F. Gonzalez-Longatt, "Wind power could play role in solving Venezuelan power crisis". *Business News Americas* (online) Available at: <http://www.bnamericas.com>.
- [6] SATHYAJITH M, *Wind Energy, Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, pp. 45–88, ISBN: 10 2-540-30905-5.
- [7] Atlas Europeo de Vientos (European Wind Atlas) producido por la *Danish National Research Laboratory, Forskningscenter Risø* (online) Avariable at: <http://www.windatlas.dk>.
- [8] H. Montiel. "Pilot Project for "La Guajira" Wind Plant". *2006 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition Latin America*, Venezuela, Caracas, Venezuela, 2006.
- [9] F González, R Terán, J Méndez, A Hernández, F Guillen. "Evaluación del Recurso Eólico: Parte I". *I Congreso Petrolero Energético ASME UNEFA*. 26 al 28 Octubre 2006.

- [10] Méndez R, Juan E. Villasana F, Rafael A. “*Análisis de Pre-Factibilidad Técnica-Comercial para el Desarrollo de una Granja de Viento en la Isla de Margarita, Venezuela*”. Trabajo Especial de Grado para Optar al Título de Ingeniero Electricista en la Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Nacional, Maracay, Venezuela, 2006.
- [11] A. Jordán L, E.A. Machado R, F.M. González–Longatt, A. Hernández, O. Ravelo “Análisis Estadístico de la Velocidad y Dirección del Viento en Venezuela”. *4to Congreso Iberoamericano De Estudiantes De Ingeniería Eléctrica (Iv Cibelec 2010) 5tas Jornadas De Ingeniería Eléctrica (V Jielectric 2010)*. Merida, Venezuela. Mayo 2010.
- [12] Servicio de Meteorología de Venezuela (on line). Available at: <http://www.meteorologia.mil.ve>
- [13] NASA Surface meteorology and Solar Energy. Website: (online) Available at: <http://eosweb.larc.nasa.gov/>
- [14] NASA Earth Observatory. Website: (online) Available at: <http://eob.gsfc.nasa.gov/>