

GRANDES PARQUES EÓLICOS Y SU VINCULACIÓN CON EL SISTEMA DE POTENCIA EN TÉRMINOS DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

Issouribehere Pedro E., Barbero Juan C., Agüero Jorge L., Esteban Daniel A., Barbera Gustavo A., Issouribehere Fernando, Mayer Hugo G.

Instituto de Investigaciones Tecnológicas para Redes y Equipos Eléctricos – Laboratorio de Alta Tensión, IITREE-LAT, FI UNLP

48 y 116 B1900AMF, La Plata, Argentina – hgmayer@iitree-unlp.org.ar

Palabras clave

Sensor de Campo Eléctrico (SCE) – Flicker – Armónicas – Sensor de Campo Magnético (SCM) – Parque Eólico

1. INTRODUCCIÓN

En la Argentina, actualmente, un importante número de grandes Parques Eólicos se encuentran aprobados para su construcción e ingreso al Sistema Eléctrico Argentino, mientras que otros tantos han sido licitados y se prevé que serán construidos en el mediano plazo. La principal razón es que el estado ha incentivado a diversos actores para invertir en energías renovables por medio de atractivas señales económicas.

Es bien sabido que los aerogeneradores, debido a características inherentes a su propio funcionamiento, emiten perturbaciones hacia la red a la que se encuentran conectados, lo cual puede afectar sensiblemente la Compatibilidad Electromagnética en el PAC (Punto de Acoplamiento Común).

En Argentina, las perturbaciones en la tensión provista por las distribuidoras y las emitidas por los usuarios de la energía eléctrica se encuentran reguladas por las respectivas resoluciones del Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE), 184/00 y 99/97.

Según el Anexo 40 de “Los Procedimientos de la Secretaría de Energía (SE)”, “los aerogeneradores deberán cumplir, en lo que respecta a inyección de armónicas, flicker, etc. con la Norma IEC 61400-21”, para poder ser incorporados al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). En esta Norma, IEC 61400-21, se indica con rigurosidad cómo determinar la emisión de un único aerogenerador y, a partir de ello, sugiere cómo “estimar” los correspondientes niveles de emisión de un Parque compuesto por N aerogeneradores de ese modelo particular.

2. Sistema de medición y descripción de los Parques Eólicos

Sistema de medición empleado

Con el objeto de conocer los niveles reales de perturbaciones emitidas por los Parques Eólicos recientemente construidos, se llevaron a cabo mediciones de campo exploratorias – en forma independiente a los operadores de los parques – en inmediaciones de tales instalaciones. Para ello, las perturbaciones en la tensión fueron medidas por medio de un sensor de campo eléctrico (SCE), mientras que las perturbaciones en la corriente se midieron a través de un sensor de campo magnético (SCM); esto es, no se efectuó ningún tipo de vinculación galvánica con el sistema. El SCE es un desarrollo propio del IITREE FI-UNLP, mientras que el SCM es un dispositivo de tipo comercial.

Sendos sensores fueron colocados directamente debajo de las Líneas de Alta Tensión que emergen de las Estaciones Transformadoras vinculadas a los Parques, y las

correspondientes señales de salida fueron ingresadas a un equipo registrador de Calidad del Servicio Eléctrico normalizado.

Además de las mediciones de armónicas y flicker, realizadas por medio del procedimiento descripto, se consideró la información de los despachos de sendos parques, en términos de potencia activa y reactiva, como así también de registros de los vientos a la altura del rotor durante los períodos de registro. Esta información fue aportada por CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico Sociedad Anónima).

Los parques medidos fueron el Parque Eólico Rawson (PER) y el Parque Eólico Loma Blanca (PELB), y las mediciones se realizaron durante los días 3 y 4 de diciembre de 2013.

Descripción del Parque Eólico Rawson (PER)

El Parque Eólico Rawson (PER) está ubicado sobre la Ruta provincial 1 a 5 km al sur de Rawson, en la provincia de Chubut. Éste posee una capacidad de generación de 77,4 MW, y se encuentra dividido en dos sectores, llamados PERI y PERII. El primero de ellos cuenta con 27 aerogeneradores de 1,8 MW; mientras que el segundo posee 16 aerogeneradores de la misma potencia. Ambos sectores se conectan al sistema de transmisión argentino en 132 kV, vía un tramo de línea de 6 km.

En la Tabla I se detallan las características técnicas de los aerogeneradores instalados en el PER.

Tabla I. Características de los aerogeneradores del PER.

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Potencia Nominal</i>	<i>Tipo de Generador / Convertidor</i>	<i>Diámetro de Rotor</i>	<i>Velocidad de Viento Nominal</i>
Vestas	V90-1.8/2.0 MW GridStreamer™	1.8 MW	Generador de Imán Permanente / Full Scale Converter	90 m	13 m/s

Los registros de armónicas y flicker en el PER se llevaron a cabo en tres períodos distintos, durante los días 3 y 4 de diciembre de 2013. Cada período duró aproximadamente 2 horas. Los mismos se han denominado, MPER1, MPER2, y MPER3, respectivamente.

Descripción del Parque Eólico Loma Blanca (PELB)

El Parque Eólico Loma Blanca está ubicado al norte de la localidad de Trelew, en la provincia de Chubut, a ambos lados de la ruta nacional N° 3 entre las ciudades de Puerto Madryn y Trelew. Este proyecto completo, PELB, se compone de cuatro etapas (PELB I, II, III y IV). Al momento de realizar las mediciones, sólo la etapa IV había sido concluida. Esta etapa comenzó a operar en agosto de 2013 y cada módulo es capaz de generar 50 MW.

El parque constaba, al momento de las mediciones, de 17 aerogeneradores de 3 MW cada uno. También se conecta al sistema argentino en 132 kV, por medio de una línea de unos 45 km.

En la Tabla II se brindan las principales características de los aerogeneradores empleados en el PELB.

Tabla II. Características de los aerogeneradores del PELB.

<i>Fabricante</i>	<i>Modelo</i>	<i>Potencia Nominal</i>	<i>Tipo de Generador / Convertidor</i>	<i>Diámetro de Rotor</i>	<i>Velocidad de Viento Nominal</i>
Alstom	Eco 100	3.0 MW	Generador Asíncrono / DFIG (Doubly-Fed Induction Generator)	100 m	12 m/s

3. Resultados y discusión.

Mediciones realizadas en el Parque Eólico Rawson (PER) Presentación de resultados de armónicas y flicker

En las Fig. 1-a y 1-b se muestran las armónicas tanto en la tensión como en la corriente, la potencia activa generada por la totalidad del parque (negro), la velocidad del viento a la altura del eje (azul), y el flicker, para los dos primeros de los tres períodos mencionados.

En lo que respecta a la potencia activa, se vislumbra que durante ciertos pasajes de los registros ésta se encontró cercana a la nominal del parque. Asimismo, se presentan períodos con potencias por debajo de la nominal, lo que seguramente se haya debido a exigencias de despacho por parte del operador del sistema eléctrico. En cuanto al flicker, lo que se ha graficado es el Pst, el cual es justamente el índice que se emplea para evaluar el nivel de esta perturbación presente en la tensión.

El valor máximo tolerado, de acuerdo a los estándares internacionales y a la normativa nacional, es $Pst=1$.

El valor de Pst medido siempre se encontró por debajo de 1. Como observación adicional, se destaca que los valores más elevados de flicker se dieron durante el período 1, esto es, junto a la presencia de valores de viento por encima de su valor nominal.

Respecto a las armónicas, tanto para tensión como para corriente, los niveles resultaron del mismo orden durante los tres períodos de registro. Adicionalmente, la armónica que presentó valores más elevados fue la 5ª.

No se observa correlación entre los niveles de armónicas y la velocidad del viento.

En cuanto a la vinculación con la potencia, en el tercer período (no mostrado) se presenta un leve incremento en el perfil de la 5ª armónica al disminuir la potencia generada.

A manera de resumen, en la Tabla III se muestran los valores medidos para ciertas componentes armónicas en la tensión (representados por su Percentil95) junto con los niveles de referencia, tanto los existentes en Argentina como aquellos de la IEEE.

Los niveles medidos resultaron por debajo de los de referencia en todos los casos.

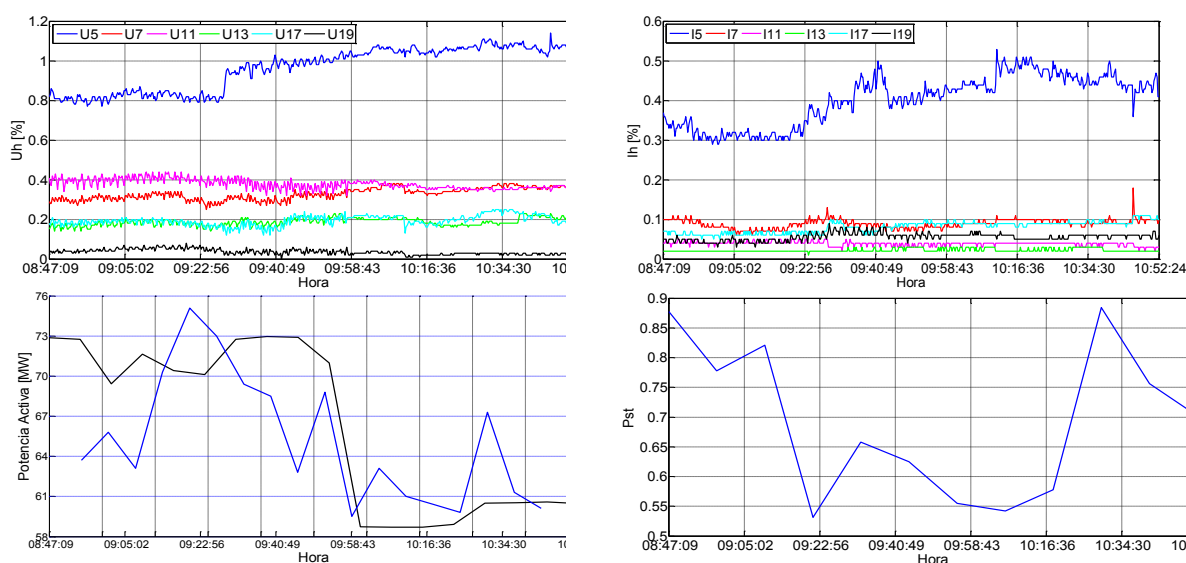


Fig. 1-a. MPER1: Tensiones y corrientes armónicas, potencia, velocidad del viento y flicker.

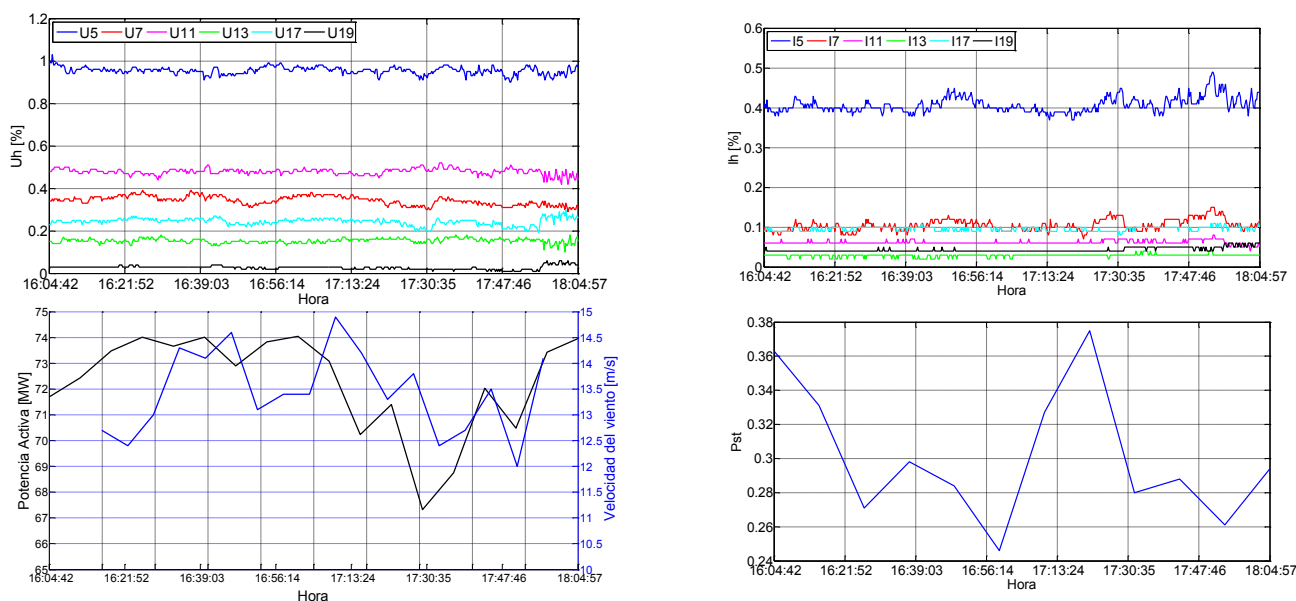


Fig. 1-b. MPER2: Tensiones y corrientes armónicas, potencia, velocidad del viento y flicker.

Mediciones realizadas en Parque Eólico Loma Blanca (PELB) Presentación de resultados de armónicas y flicker

A diferencia del PER, en este caso no fue posible obtener registros de vientos. La razón de ello es que los registros de perturbaciones se realizaron a sólo cuatro meses de la puesta en servicio de la planta, por lo que CAMMESA no contaba aún con la posibilidad de recibir en forma remota ni la potencia generada ni el viento en cada aerogenerador. Lo que sí fue posible obtener son los registros de potencia activa y reactiva de la totalidad del parque.

Tal como en el PER las mediciones se efectuaron en tres períodos de registro – de dos horas cada uno – entre los días 3 y 4 de diciembre de 2013.

En las Fig. 2-a y 2-b se muestran los perfiles de armónicas en tensión y corriente, las potencias activa (negro) y reactiva (azul), y el flicker para los dos primeros de los tres períodos medidos. Durante los registros, la potencia activa alcanzó niveles de hasta 40 MW.

Con respecto al flicker, en ningún caso se presentaron niveles de Pst por encima de la unidad.

En cuanto a armónicas, en los perfiles de MPELB1 y MPELB3 (no mostrado) se presenta un súbito aumento en la 5ª armónica (tanto en tensión como en corriente). De hecho, el perfil de tal armónica creció al doble del nivel que presentaba. Sin embargo, en tal instante no se observa ningún cambio en los perfiles de potencia.

Otro hecho para destacar es el apreciable aumento de las armónicas en la corriente hacia el final del tercer período de medición. Al correlacionar esto con el perfil de potencia activa, se vislumbra que durante tal porción del registro, la misma cae a valores tan bajos como 6 MW. Naturalmente, para generar valores tan bajos de potencia, sólo algunos aerogeneradores deben haber estado funcionando y seguramente con una potencia marcadamente por debajo de su valor nominal, lo cual podría redundar en una condición de elevada emisión de armónicas.

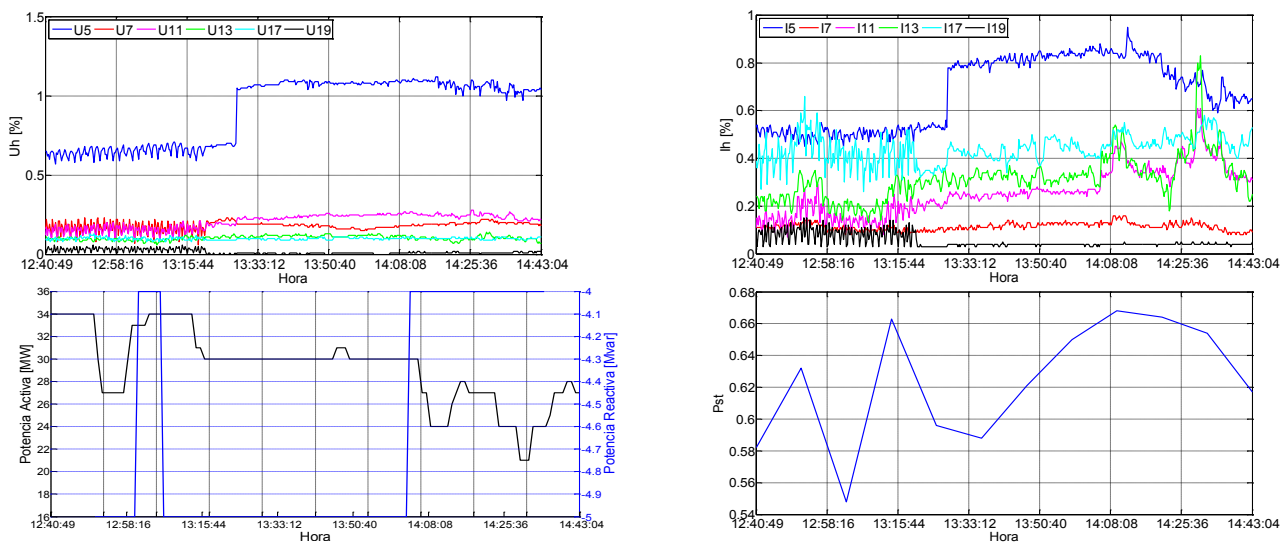


Fig. 2-a. MPELB1: Tensiones y corrientes armónicas, potencias activa y reactiva, y flicker.

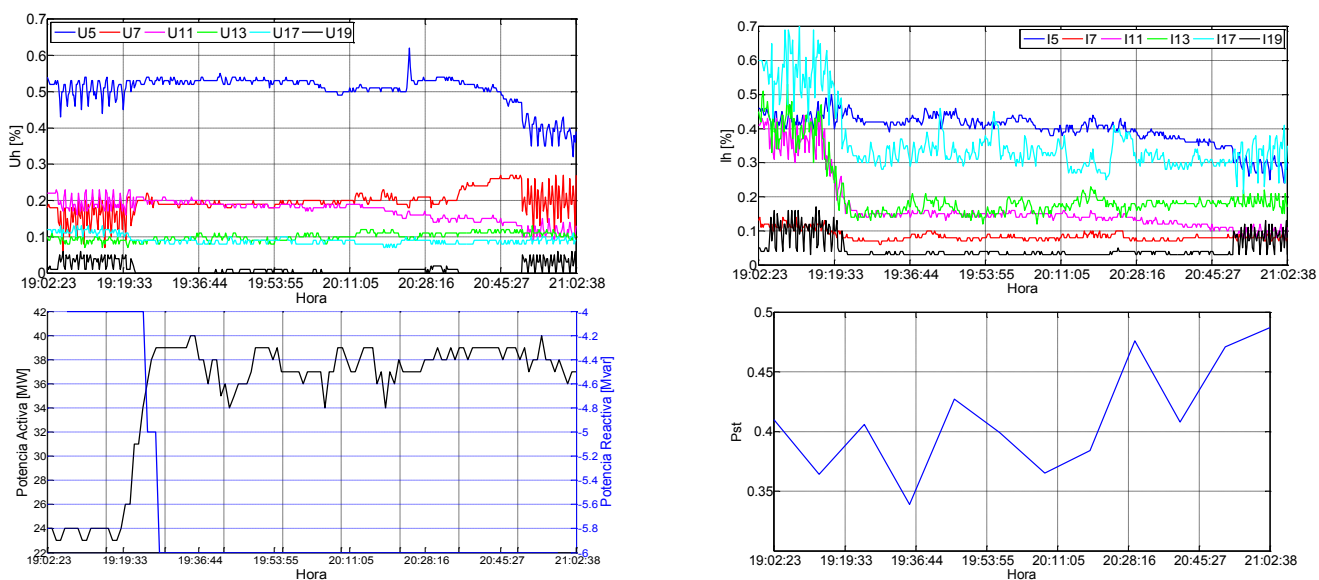


Fig. 2-b. MPELB2: Tensiones y corrientes armónicas, potencias activa y reactiva, y flicker.

Por último, en la Tabla III se comparan los valores de armónicas medidos en la tensión – sólo para algunas componentes – con los de referencia. No se observaron transgresiones de tales niveles.

Tabla III. Comparación de los valores medidos en la tensión con los de referencia.

Valores P95	U ₅	U ₇	U ₁₁	U ₁₃	U ₁₇	U ₁₉
Parque Eólico Rawson	1.07	0.37	0.49	0.21	0.26	0.05
Parque Eólico Loma Blanca	1.09	0.23	0.25	0.14	0.11	0.04
Niveles de referencia Argentina	2.00	2.00	1.50	1.50	1.00	1.00
IEEE Std 519-1992	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

4. CONCLUSIONES

- El recurso eólico se encuentra en etapa de expansión y se espera que crezca abruptamente en los próximos años dentro de la matriz energética argentina. Existe un elevado potencial para tal recurso energético.
- Esto representa un cambio significativo en términos ambientales.
- Sin embargo, la regulación acerca de la integración de grandes parques eólicos al sistema de potencia es particularmente superficial en materia de Calidad del Servicio Eléctrico.
- La autoridad de control debería exigir a los operadores de los parques que se lleven a cabo estudios preliminares a los efectos de predecir el impacto que el parque tendrá sobre la red.
- Adicionalmente, una vez que el mismo se encuentre en condiciones de operar deberían realizarse mediciones de armónicas y flicker normalizadas en el Punto de Acoplamiento Común.
- Se realizaron una serie de mediciones cortas y exploratorias, por medio de la utilización de sensores de campo eléctrico y magnético, con el objeto de evaluar el impacto de dos grandes parques eólicos en la calidad de la onda de tensión.
- Los dos parques evaluados contaban con convertidores electrónicos. Uno de ellos era del tipo full-converter, mientras que el restante era del tipo DFIG.
- Los valores de perturbaciones encontrados en la onda de tensión se encontraron por debajo de lo establecido en estándares internacionales y nacionales.
- Esto podría deberse a que durante los períodos de medición la emisión armónica de sendos parques no resultó de gran magnitud, o bien que en ambos puntos de acoplamiento la red sea lo suficientemente potente como para poder “absorber” tales perturbaciones.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J.L. Agüero, P. Issouribehere, D. Esteban, F. Issouribehere, G. Barbera, H.G. Mayer. *“Impact of large wind farms on Power Quality. First experiences gained in the Argentinian Power System”*. Paper C4-102. Conseil International des Grands Réseaux Electriques (CIGRÉ). 2014 Paris Session. Paris, France. 24 - 29 August, 2014.
- [2] P. Issouribehere, D. Esteban, F. Issouribehere, G. Barbera. *“Measurements of disturbances produced by power electronic devices on EHV overhead lines using Electric Field Sensors”*. Paper C4-104. Conseil International des Grands Réseaux Electriques (CIGRÉ). 2012 Paris Session. Paris, France. 26 - 31 August, 2012.
- [3] IEC 61400-21. *“Wind turbine generator systems – Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines”*.
- [4] *“Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão”*. Submódulo 3.6. Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. Brazil.
- [5] IEC 61000-4-15. *“Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications”*.
- [6] Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE). *“Anexo a la Resolución ENRE 184/00. Base Metodológica para el Control de la Calidad del Producto Técnico. Etapa 2”*. 2000.
- [7] IEEE Std 519-1992. *“Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”*.