



Uso de la energía eólica dentro del concepto de generación distribuida y la calidad de la energía

Enileys Guardado
Miguel Castro
Ángel Costa

Recibido: Julio del 2007
Aprobado: Septiembre del 2007

Resumen / Abstract

La conexión de los parques eólicos a las redes eléctricas presenta diversos problemas. Estos no solo se derivan de la naturaleza del elemento de conversión electromecánico de energía (la máquina asíncrona) y de la característica aleatoria de la fuente de energía primaria (el viento), sino que tienen relación directa también con las condiciones de la red y la calidad de la energía (CEL) presente en la misma. Estos problemas pueden tener diferente impacto dependiendo de las características de la red a la que está conectado el parque: red aislada o sistema interconectado. En cualquier caso, la conexión de un PE a una red requiere la realización de estudios detallados tanto de régimen permanente como de régimen dinámico para valorar con precisión su impacto. En el presente trabajo se hace un análisis de la presencia de los PE dentro de la generación distribuida (GD), su relación con la CEL, así como se presentan los primeros esfuerzos por analizar el comportamiento de las turbinas eólicas ante una de las perturbaciones más usuales que se presentan en la red eléctrica cubana: la variación de tensión.

Palabras clave: Parques eólicos, turbinas eólicas, calidad de energía

Some problems could be present when a wind farm (WF) is connected to one electric network. These problems not be only related with the nature of electromechanical conversion of energy element or randomize nature of wind; they are too related with the really conditions of the network and power quality problems. The impact of these problems could be different depending of the electric network characteristics: isolated (islanding) or connected network. Nevertheless the connection of WF to one electric network to evaluate its impact some studies about dynamic and stable states will be realized. One analysis about the presence of WF inside distributed generation concept, its relations with power quality problems and some results obtained at CIPEL on performance of wind turbines considering one of the most perturbations in electric cuban system are presented in this paper.

Key words: Wind farm, wind turbins, power quality

INTRODUCCIÓN

En los inicios de la industria eléctrica la necesidad de energía eléctrica en una localidad era satisfecha por la propia municipalidad a través de la instalación de generadores distribuidos.

La industria eléctrica comenzó su historia utilizando generación distribuida (GD), es decir, generación situada en la propia red de distribución, muy cerca de la demanda. La generación era diseñada de forma que fuera satisfecha la demanda con cierto margen de reserva (seguridad).

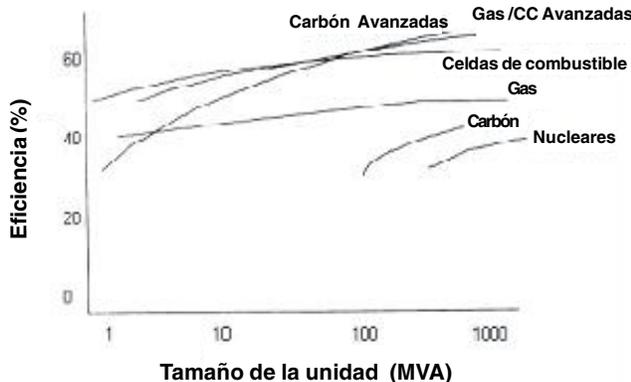
Después, con el creciente aumento de la demanda de electricidad y debido a las economías de escala involucradas, se comenzaron a construir grandes centrales generadoras, generalmente cerca de las fuentes primarias de energía (ejemplo: carbón, hidroeléctricas).

La gran diferencia de eficiencia entre una gran central de generación frente a una pequeña, en aquel momento, sumado al hecho de que el margen de reserva que se debía tomar en el primer caso era menor que si se instalaba la misma potencia en forma distribuida, dieron por resultado la actual concepción de los sistemas eléctricos; es decir, un sistema eléctrico con generadores de gran tamaño, cuya energía debe ser necesariamente transportada hacia la demanda mediante grandes redes de transmisión.

Hoy día las eficiencias de las distintas tecnologías de generación respecto al tamaño de la planta no se comportan de igual forma, tal y como puede observarse en la figura 1 para el caso de las plantas de gas, donde no se producen cambios importantes en la eficiencia al variar la potencia del generador.

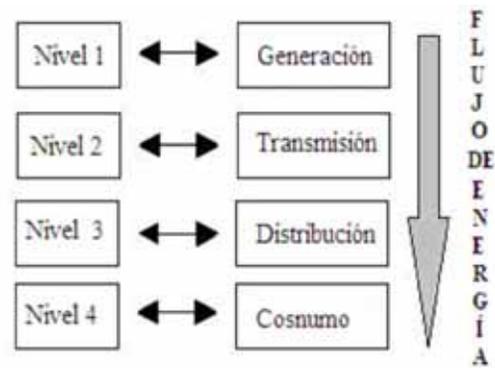
En la concepción tradicional, la producción de electricidad, dentro de la industria eléctrica, consiste en un proceso que consta de cuatro etapas (generación, transmisión, distribución y consumo), el cual se realiza con un orden determinado definiendo por lo tanto cuatro niveles, tal como se muestra en la figura 2.

Dentro de esta concepción el crecimiento del sistema implica la instalación de nuevas plantas generadoras en el nivel 1, en forma más o menos continua en el tiempo, y la ampliación de las redes de transporte y distribución de energía (nivel 2 y nivel 3), también en forma continua pero con menor frecuencia.



Eficiencias actuales de diferentes tipos de generadores en función del tamaño de la unidad.

1



Concepción tradicional de un sistema de generación.

2

El desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido un cambio con respecto a esta concepción tradicional de generación; hoy día se dispone de tecnologías que permiten generar electricidad utilizando pequeñas plantas con respecto a la generación convencional y con menor costo por megawatt generado.

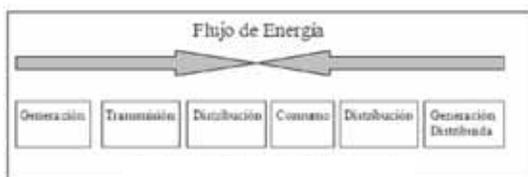
Esta evolución tecnológica, tiene una importancia estratégica clave, puesto que la relación de eficiencia era lo que determinaba en el pasado, las economías de escala de los generadores. Ante esta nueva situación se tiende a perder uno de los factores básicos que justificaba económicamente las grandes centrales.

Debe tenerse en cuenta que el tamaño de estos nuevos generadores no necesita de un sistema de transmisión sino que son adecuados para conectarse directamente a la red de distribución, siendo la energía generada por ellos consumida directamente en el lugar donde es producida. No se debe instalar entonces ninguna red de transmisión, evitando así los correspondientes costos de inversión que dicha instalación implica y las pérdidas de energía que se producirían si la red de transporte se instalara.

En consecuencia, la tendencia será a un cambio de la topología de los circuitos eléctricos de los sistemas eléctricos de potencia (SEP).

En la nueva concepción de la industria eléctrica, la generación no es exclusiva del nivel 1 y el flujo de potencia no es unidireccional, tal y como se mostró en la figura 2. Una nueva concepción se ha desarrollado y puede hablarse de una revolución en los esquemas de los SEP; en este nuevo esquema, una parte de la energía demandada es proveída por los generadores centrales convencionales, mientras que otra es producida mediante lo que hoy se conoce

como generación distribuida GD, generación difusa, generación insitu o generación descentralizada. El esquema de lo anteriormente mencionado se muestra en la figura 3.



Nueva concepción de los SEP.

3

La GD es, según el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, con sede central en los EE.UU. (según sus siglas en inglés): "...la generación de electricidad mediante instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico....".

En el contexto internacional el uso de la GD ha sido promovido por diversos factores. De acuerdo con datos de la CIGRE ya en 1999 en diversos países del mundo se había incrementado de forma importante el porcentaje de la potencia instalada de GD, en relación con la capacidad total instalada; así, países como Dinamarca y Holanda, alcanzaban en ese período hasta un 37% de su generación en esta forma, mientras que en otros como Australia, Bélgica, Polonia, España y Alemania ya alcanzaba un 15%.¹

En lo relativo al potencial en GD en el mundo, se plantea que:

- Se estima que en los próximos 10 años el mercado mundial para la GD será del orden de 4 a 5 mil millones de dólares.

- Estudios del Instituto de Investigaciones de Potencia Eléctrica (EPRI, según sus siglas en inglés) y de la Fundación Natural del Gas en los EE.UU. prevén que, de la nueva capacidad de generación eléctrica que se instalará hasta el año 2010 en dicho país, del 25% al 30% será con GD.

- Sobre la base de estimaciones de la Agencia Internacional de Energía, los países desarrollados serán responsables del 50% del crecimiento de la demanda de energía eléctrica mundial en los próximos 20 años, equivalente a 7 millones de MW, donde el 15% de esta demanda le corresponderá a GD.

Esta forma de generación presenta los siguientes beneficios adicionales al sistema eléctrico:

- Reduce las pérdidas en las redes de distribución.
- Incrementa la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica.
- Proporciona control de energía reactiva y regulación de tensión en la red de distribución.
- Reestablecimiento en caso de colapso total.
- Genera energía limpia utilizando fuentes renovables (generación distribuida renovable).
- Mejora la eficiencia del sistema.

Existen varias tecnologías utilizadas dentro de la GD; las mismas se muestran en la figura 4.

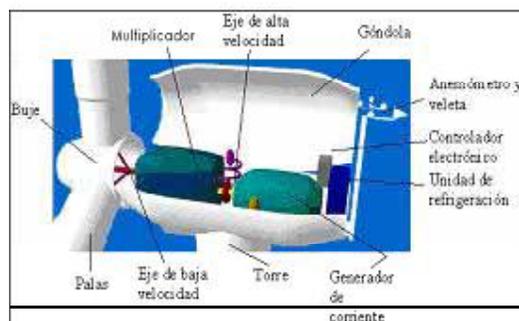
El uso de la energía eólica dentro de las tecnologías de la GD es una de las que mayor crecimiento ha mostrado en los últimos años. Los aerogeneradores o turbinas eólicas (figura 5) pueden trabajar de forma independiente o en conformación de parques eólicos (PE) y se identifican de acuerdo con su aplicación en:

- Instalaciones eólicas conectadas a la red eléctrica de distribución general.
- Instalaciones aisladas, es decir, no conectadas a la red.



Tecnologías de GD.

4



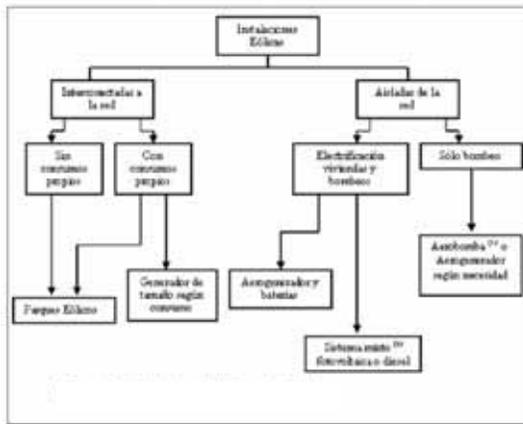
Componentes de un generador.

5

Esta clasificación permite a nivel general plantear las diferentes tecnologías de generación eléctrica y de acumulación de la energía. En la figura 6 se ofrece una síntesis de las aplicaciones más usuales de la energía eólica.

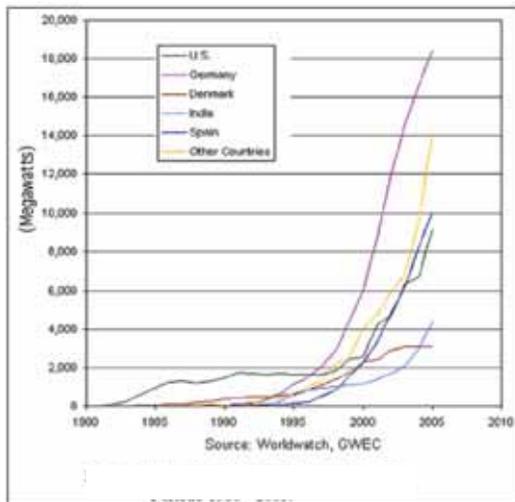
El progresivo adelanto experimentado por la energía eólica en las últimas décadas puede calificarse de excelente, a juzgar por los 40 000 MW de potencia instalados en el mundo a principios del 2005,² lo que hace que se esté fortaleciendo como una seria alternativa a los combustibles tradicionales. Su auge y creciente uso ayudaría a frenar la dependencia del petróleo, de muchos países en que este supone una carga en sus economías.

En este dinámico mercado, Europa es el líder absoluto, teniendo más del 70 % de las instalaciones, con bastante ventaja frente al resto de los continentes, y siendo Alemania el número uno en cuanto a países. En la figura 7 se muestra gráficamente esta evolución.



Aplicación de la energía eólica.

6



Capacidad de GE con energía eólica, periodo 1980-2005.

7

PROBLEMAS ASOCIADOS AL USO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS

La producción de energía eléctrica a partir del viento es una forma de generación que puede tener altos beneficios tanto para el consumidor como para el medio ambiente, requiere además de un tiempo de construcción menor y sus costos son actualmente competitivos comparados con formas de generación convencionales. Por dichas razones este tipo de generación eléctrica se ha convertido en una de las fuentes más competitivas de energía renovable; no obstante lo anterior, presenta un grupo de desventajas que agrupadas pueden ser resumidas³. Estan son:

- La potencia del viento se considera una fuente de potencia intermitente debido a que el viento no fluye constantemente en el tiempo.
- Los sitios de vientos superiores están generalmente localizados en áreas remotas por lo que se requiere una infraestructura adecuada para llevar la potencia generada por el viento a los centros de carga.
- Aún hoy día una gran parte de los generadores eólicos son generadores de inducción; los generadores de inducción consumen potencia reactiva durante su operación normal, lo cual puede provocar caídas de tensión en los sistemas de potencia.
- Los patrones de flujo de potencia y las características dinámicas del sistema deben ser cambiadas cuando se integran al sistema eléctrico parques eólicos en gran escala.
- En esta dirección, deben realizarse estudios de flujo, tanto para condiciones normales de operación como ante situaciones de contingencia, para analizar la sobrecarga potencial de las líneas de transmisión, así como chequear los niveles de cortocircuito, los cuales deben ser calculados antes y después de la introducción de los parques eólicos en la red, con el objetivo de valorar las mejoras necesarias a ejecutar en la misma.
- También, se requiere realizar estudios sobre la estabilidad dinámica del sistema con la introducción del parque eólico.

Resulta evidente que los tres primeros problemas que se mencionan están muy en relación con la calidad de la energía eléctrica (CEL) asociada a los parques eólicos (PE). La CEL es un concepto que hoy forma parte intrínseca de la gestión de una empresa eléctrica pues no solo pasa por cuestiones relacionadas con el comportamiento de indicadores técnicos como pueden ser la duración equivalente de las interrupciones del servicio (DES), la frecuencia equivalente de las interrupciones del servicio (FES) o la distorsión individual o total de armónicas (DTA), sino que tiene en cuenta también aspectos relacionados con la atención al cliente.

La CEL tiene varias definiciones, según los criterios emitidos; por ejemplo, el EPRI plantea que la CEL es: "Cualquier problema de potencia manifestado en la desviación de la tensión de la corriente o de la frecuencia, de sus valores ideales, que ocasione falla o mala operación del equipo de un usuario", mientras que la IEC⁴ la define como: "Una característica física del suministro de electricidad, la cual debe llegar al cliente en condiciones normales, sin producir perturbaciones ni interrupciones en los procesos del mismo...". El problema no debe analizarse tanto desde el punto de vista de la definición, sino partiendo de lo que se busca con una CEL adecuada, pues si bien no son iguales las definiciones anteriores, ambas sí tienen en consideración que los fenómenos asociados al suministro de energía no deben crearle problemas al cliente final, y para ello deben tenerse en cuenta tanto las posibles influencias que una tecnología pueda provocar con su introducción en un sistema eléctrico cualquiera, como aquella que pueda tener dicho sistema sobre la nueva tecnología.

Por lo general se plantea que existen cuatro variables que definen la CEL:

- Amplitud de la señal.
- Frecuencia de la señal.
- Forma de la señal.
- Continuidad del servicio

Analizando todo lo anterior es por tanto fundamental enfocar la presencia de los PE en una red o sistema eléctrico como el cubano, a partir de diferentes cuestionamientos o preguntas como:

a) ¿La introducción de los PE puede crear problemas de calidad de la energía al ser sincronizados al sistema eléctrico cubano, o lo que es lo mismo, afectar los parámetros o indicadores anteriores?

b) ¿Pueden los parques eólicos operar incorrectamente cuando se sincronizan a un sistema eléctrico que presenta problemas de calidad de la energía? ¿Cómo son afectados?

c) ¿Cuáles son los generadores eólicos que tienen mejores características para operar de forma sincronizada en un sistema eléctrico como el cubano?

d) ¿La red eléctrica cubana tiene condiciones de operación y estabilidad que permiten la introducción masiva de la energía eólica como fuente de generación de importancia? ¿Cómo evaluar este aspecto?

e) ¿Cuál podría ser el impacto de la introducción de la energía eólica en el sistema eléctrico cubano, desde el punto de vista ambiental? ¿Cómo evaluar estos impactos?

Realmente son varias las preguntas a responder, pues la introducción de los PE en el caso cubano puede diferir, en gran medida, de experiencias similares en

sistemas eléctricos como en España, Alemania, EE.UU. y Dinamarca por mencionar algunos de los países donde esta tecnología se ha introducido, o se está introduciendo en gran escala.

Varios estudios han tratado de abordar la presencia de los PE en la red. Por ejemplo, en la referencia 3 se realiza un análisis a partir de la incorporación de 120 MW de generación debido a un PE y considerando la peor condición desde el punto de vista de la tecnología del aerogenerador al considerar la turbina de viento conformada por un generador tipo jaula de ardilla, ya que este tipo de generador no puede realizar control de tensión y consume además potencia reactiva de la red. El esquema de la red analizado se muestra en la figura 8.

A partir de este esquema se realizan estudios de flujo de carga (para detectar variaciones en las condiciones de estado de la red), cortocircuito (con el objetivo de validar los ajustes del esquema), estabilidad dinámica (para determinar los posibles problemas que desde ese punto de vista pudieran originarse por la nueva generación de tipo eólica). Las conclusiones a que arriban los autores de este trabajo son:

a) La incorporación de los 120 MW de generación, debido al PE, provoca una ligera sobrecarga en el transformador de 138/69-kV conectado a la barra A y una sobrecarga alta en el circuito de 138 kV de la línea D. Por tal razón, es necesario limitar su generación máxima hasta 114 MW.

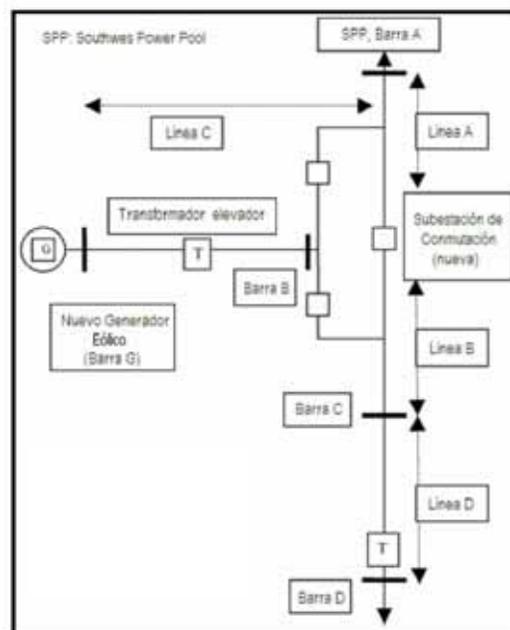


Diagrama simplificado del sistema eléctrico en que se incorpora el parque eólico.

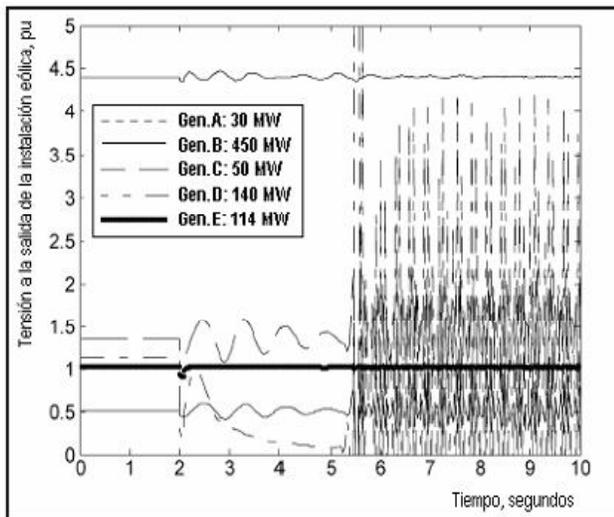
b) Se obtuvo un máximo de incremento del 18,85 % en la corriente de falla trifásica en la barra C, así como otro incremento del 13,2 % en la barra A. Esta situación requiere de un análisis posterior de los ajustes de las protecciones o cambio del esquema ante una falla de este tipo.

c) Se observó que el PE se hace inestable después de una falla trifásica de 5 ciclos y cuando la línea B (del esquema mostrado anteriormente) se abre para limpiar la falla, lo cual puede verse en el perfil de tensión a la salida del PE en la figura 9.

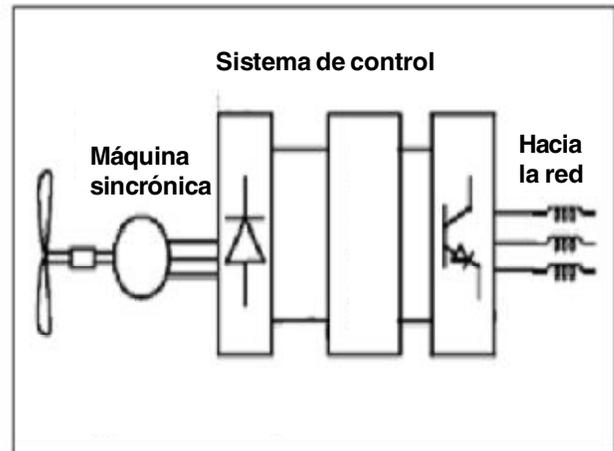
En la referencia 5 se realiza un análisis de cómo responde un aerogenerador, en específico, ante la presencia de una perturbación como la caída de tensión en la red que se produce al ocurrir una falla en la misma.

En este trabajo se analiza el comportamiento del aerogenerador y su posible influencia sobre la línea que alimenta, partiendo de un esquema como el mostrado en la figura 10.

En las simulaciones se observa que la corriente en la línea alcanza su máximo valor hasta que la tensión en el condensador retorna a su valor nominal, mientras que si se utiliza un lazo de control, adicionado al sistema de control que posee, se puede disminuir el tiempo de aplicación de esa alta corriente al sistema solo durante la caída de la tensión (la perturbación), ya que una vez se restaura la tensión, la corriente se reduce abruptamente, recobrando su valor normal igual al que tenía antes de la perturbación, lo cual puede verse en la figura 11.

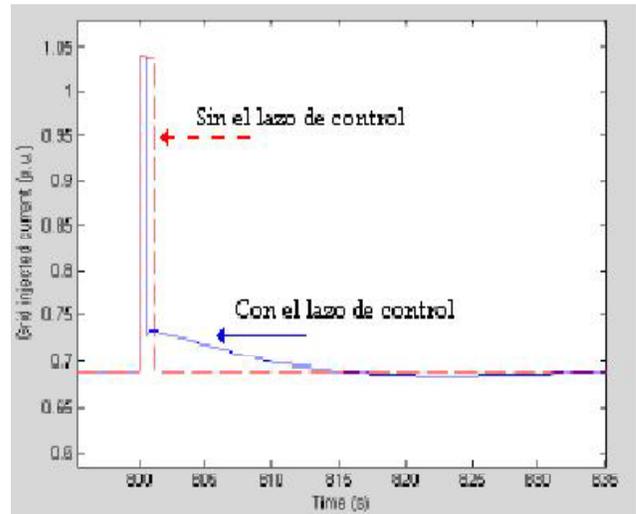


Perfil de tensión a la salida del PE ante una falla trifásica.



Composición del sistema analizado.

10



Variación de la corriente en la línea.

11

De los dos casos expuestos se puede concluir que evidentemente la introducción de la energía eólica en el sistema cubano requiere de estudios iniciales que permitan no solo conocer las adecuaciones o cambios que deben hacerse en las partes del sistema donde estarán sirviendo estos PE, sino también tener en cuenta la respuesta de los PE ante los problemas de calidad de la energía que se presenten en el mismo.

Para dar inicio a estos estudios, en el CIPEL se han iniciado algunos estudios utilizando técnicas de simulación que han permitido obtener algunos resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Utilizando como programa base el MatLab, se modeló un aerogenerador a partir de un generador de inducción con velocidad constante, partiendo del criterio que es una de las tecnologías más utilizadas en los PE.

Para el análisis se considera la máquina en estado estable y se analizó el comportamiento del aerogenerador ante variaciones en la tensión en la red a la cual se encuentra conectado; se consideraron variaciones de tensión de un 90, 80 y 70 % de la tensión nominal. Los datos del aerogenerador y las condiciones de trabajo se presentan en la tabla 1.

Tabla 1 Característica del aerogenerador y algunas condiciones de trabajo		
Símbolo	Parámetro	
P_N	Potencia nominal	600 kW
n_1	Velocidad sincrónica	1 800 r/min
n_N	Velocidad nominal	1 944 r/min
k_{red}	Razón del multiplicador	78
f_N	Frecuencia del sistema	60 Hz
r	Radio de las aspas	26 m
ρ	Densidad del viento	1,225

Para la simulación se utilizó 1 un grupo de ecuaciones que permiten evaluar el comportamiento del generador ante la perturbación que se analiza.

$$T = k_{red} S \quad \text{donde:}$$

$$k_{red} = \frac{3 U^2}{w_1 R} \quad \begin{array}{l} U: \text{Tensión en el estator.} \\ w_1: \text{Velocidad sincrónica.} \\ R: \text{Resistencia del rotor.} \end{array}$$

$$C_p = c_1 c_2 c_5 \exp c_6$$

$$\frac{1}{c_0} = 0,035 \quad \text{donde } c_0 = \frac{w_2 r}{V}$$

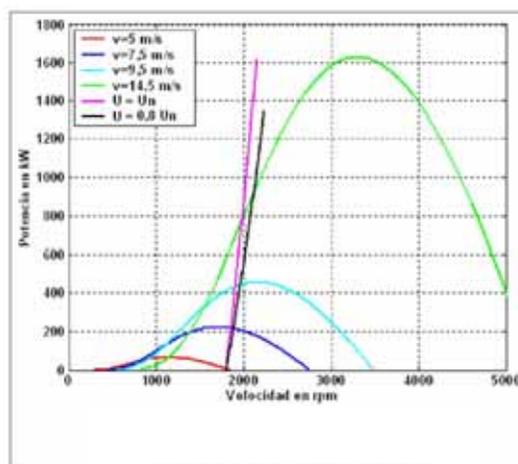
$$P = \frac{1}{2} \rho A C_p V^3$$

La característica de la máquina eléctrica del aerogenerador se determina considerando que el torque es directamente proporcional a la velocidad, hallándose la constante de proporcionalidad (k_{red}) a partir de los valores nominales; por otro lado, la característica del aerogenerador, para cada valor de velocidad del viento, se halla considerando que para diferentes valores de la razón de velocidad pico (o TSR, Tip Speed Ratio en inglés) le corresponde un valor de C_p o coeficiente de potencia del rotor, el cual es una función de λ y del ángulo de inclinación de las aspas (este valor se considera igual a cero para el análisis en este trabajo); con estos valores de C_p se calcula la potencia que entrega el aerogenerador.

Los valores de los coeficientes C_1 , C_2 , C_3 , C_5 y C_6 son obtenidos.⁸ Con los valores de la velocidad del viento y la λ se calcula la velocidad del rotor. Obtenidos los valores de potencia y de velocidades respectivos se tienen todos los datos para la simulación de la característica completa.

La figura 12 muestra cómo varía la característica de potencia que entregaría el aerogenerador en función de la velocidad del rotor y del viento, así como los puntos de corte con la característica de la máquina eléctrica, los cuales permiten construir la característica de potencia del aerogenerador en función de la velocidad del viento, la cual se muestra en la figura 13.

En la figura 12 también puede observarse que la característica de la máquina eléctrica aumenta su pendiente cuando se encuentra trabajando a un 80% de la tensión nominal; este aumento de pendiente permite un mejor aprovechamiento de la velocidad del viento, pues a una velocidad superior, el valor de C_p será mucho más grande, permitiendo esto que se pueda extraer más potencia al viento.

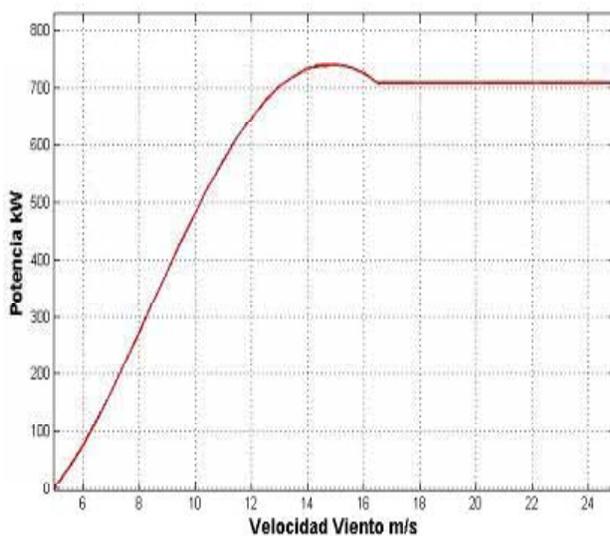


Características de potencia del aerogenerador en función de la velocidad del rotor y de la velocidad del viento.

Al analizar el comportamiento de esta característica de potencia mostrada en la figura 12 y considerando la condición de perturbación de una variación de la tensión en los terminales del aerogenerador, se puede observar en la figura 13 que la característica se desplaza hacia valores superiores de potencia, o sea, a una menor tensión en los terminales se obtiene una mayor potencia de entrega del aerogenerador.

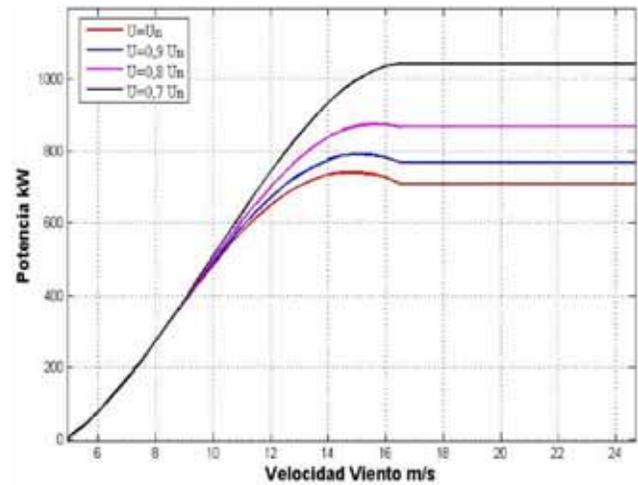
Esto evidentemente permitiría obtener una mayor entrega del generador, pero a su vez implica una mayor corriente de carga en la máquina, lo que podría ser de un gran inconveniente para su funcionamiento, ya que puede sobrepasar los valores permitidos de trabajo (sobrecarga) y tener consecuencias fatales para la misma.

Asímismo, la figura 14, obtenida a partir del análisis de la variación de la potencia con respecto a la nominal, para diferentes valores de velocidad del viento, permite ver que el valor de 8,5 m/s se convierte en un punto de inflexión, alrededor del cual no se observan variaciones determinantes con la variación de la tensión, pero más allá de ese punto se observa una variación muy clara de la potencia que entrega el aerogenerador cuando se somete a este tipo de perturbación, la cual, como se manifestó anteriormente, es una de las más comunes que se puede presentar en cualquier sistema eléctrico.



Curva de potencia que entrega el aerogenerador simulado en función de la velocidad del viento.

13



Características de potencia al variar la tensión en los terminales de las máquinas.

14

CONCLUSIONES

La energía eólica se convierte en una de las tecnologías más hechas y de mejor relación costo-beneficio que pueden ser utilizadas en el concepto de la generación distribuida.

El uso de los PE sincronizados a una red eléctrica tiene que tener en cuenta los problemas de calidad de la energía asociados a esta decisión, ya que debe adaptarse a los requerimientos y características de la misma. Para ello se requieren estudios que caractericen los diferentes tipos de generadores eólicos que se van a utilizar, así como las configuraciones de los PE en su penetración en la red.

Una variación de tensión en los terminales del aerogenerador tiene una influencia directa en la potencia que entrega el mismo a la red, lo cual debe analizarse no solo desde el punto de vista de la estabilidad de la entrega, sino desde el punto de vista de las corrientes de carga en el aerogenerador, las cuales pueden alcanzar valores que sean prohibitivos para un funcionamiento correcto del mismo.

REFERENCIAS

1. WADE's World Survey of DE - 2005.
2. Compiler for Earth Policy Institute de Worldwatch Institute, Signposts 2004, CD-Rom (Washington, DC: 2004); Global Wind Energy Council, "Global Wind Power Continues Expansion," press release, 17 February, 2006.

3. **Chompoo-Inwai, Chai et al.**: "System Impact Study for the Interconnection of Wind Generation and Utility System", *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 41, No. 1, pp. 163-168, January/February 2005.

4. *IEC 61000-2-2/4*.

5. **Herrero, N. C. et al.**: *Response of a Variable Speed Synchronous Wind Generator to Voltage Dips*, Internal Publication Universidad Politécnica de Madrid, 2005.

6. **Xing Zuoxia et al.**: *Integration of Large Doubly-fed Wind: Power Generator System into Grid*, ICEM, Proceedings, pp.1000-1004, 2005.

AUTORES

Enileys Guardado Pérez

Ingeniera Electricista, Unión Eléctrica de Cuba, Ciudad de La Habana, Cuba

e-mail: enileys@dnc.minbas.cu

Miguel Castro Fernández

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas
Profesor Titular, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

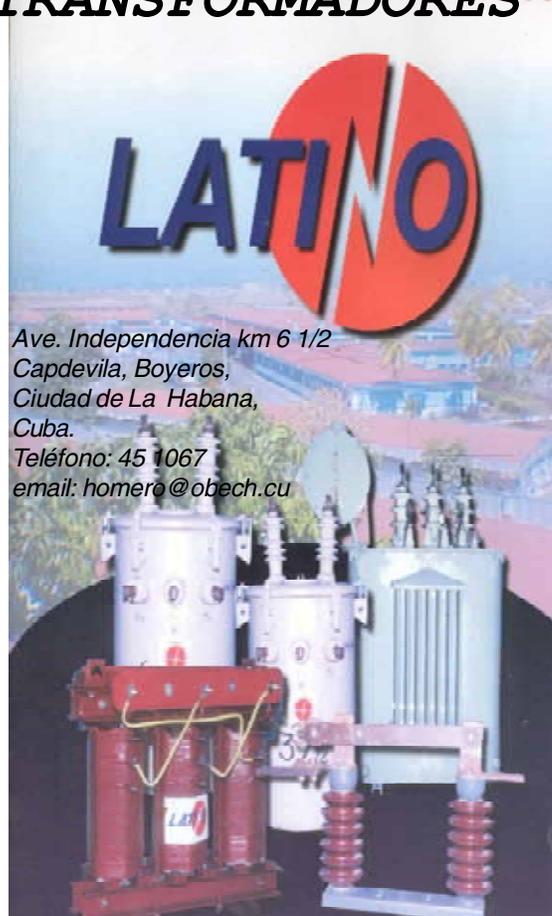
e-mail: mcastro@electrica.cujae.edu.cu

Ángel Costa Montiel

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas,
Profesor Titular, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, Cuba

e-mail: aacm@electrica.cujae.edu.cu

FÁBRICA DE TRANSFORMADORES



**CENTRO DE OPERACIONES
LUIS FELIPE ALMEIDA OBE
CIUDAD DE LA HABANA**



Nuestro Centro Territorial de Producción, siempre dispuesto a satisfacer las necesidades del cliente, le oferta un grupo de producciones y servicios, para lo que cuenta con una reconocida experiencia

Contáctenos:

Empresa Eléctrica Ciudad de La Habana
Ave. Independencia km 6 1/2, Boyeros
Ciudad de La Habana, Cuba
Teléfono: 45 1357
Fax: 45 1679

email: colfa@abech.cu