INTEGRACIÓN DE UN PARQUE DE GENERACIÓN EÓLICO A UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA, Y SUS RESTRICCIONES TECNOLÓGICAS

Rodríguez, José Luis - jlrodri@unsj.edu.ar
Marino, Javier - Jmarino@unsj.edu.ar
Guerrero, Mario - mguerre@unsj.edu.ar
Universidad Nacional de San Juan. Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica Aplicada.
Área de Energías Alternativas
Av. Libertador San Martín 1109 Oeste, (5400) - San Juan.
Tel.: 54-264-4211700, int. 320. Fax: 54-264-4210277

5.2 Aplicações Eólicas

RESUMEN *La creciente demanda de energía eléctrica y en adhesión a las políticas internacionales y en el conocimiento previo esencial del protocolo de Kyoto, conducen a la búsqueda de fuentes energéticas limpias, entre las cuales se encuentra la energía eólica. Estas fuentes, deben ser controladas de manera tal, que la calidad del producto eléctrico obtenido sea compatible con las necesidades de los consumidores. Es necesario vincular las centrales entre sí, debiendo cumplirse ciertos aspectos técnicos como el aporte de potencia reactiva, capacidad de regulación primaria, secundaria, reserva, etc. El aporte de energía reactiva, depende del tipo de tecnología implementada, debiendo determinar la mejor solución a dicho aspecto y su relación con los demás requerimientos. Se analiza la posibilidad de conexión directa de un parque de generación eólico de 4MVA a una central hidroeléctrica de 10,3 MVA con capacidad de generación reactiva, compartiendo el mismo punto de conexión al sistema de transporte de energía eléctrica. Se llega a la conclusión de utilizar un generador asincrónico con sistema de compensación por bancos de capacitores, para el parque de generación eólico, introduciendo la posibilidad de entregar potencia reactiva al sistema, sin necesidad de generar energía activa. La reducida inercia de los aerogeneradores, les dificulta la capacidad de aporte energético para la regulación primaria y secundaria de frecuencia, quedando limitadas a entregar la energía fijada por el recurso disponible. La reserva se logra mediante la vinculación con la central hidroeléctrica. Se propone la reserva de energía por parte del aerogenerador, por medio de bancos de resistencias. Se determinaron patrones de generación básicos para la hidroeléctrica, basados en la disponibilidad de viento y los requerimientos de agua para regadío a la salida, uniformando la generación del grupo de centrales vinculadas.*

Palabras Claves: Generación Eléctrica, Aerogeneradores a Inducción, Potencia Reactiva, Interconexión,Transporte de Energía.

1. INTRODUCCIÓN

Los organismos reguladores de los sistemas de suministro de energía eléctrica, establecen requerimientos técnicos que deben cumplir todos aquellos agentes que deseen acceder al sistema interconectado de transporte de energía eléctrica de nuestro país, con el objetivo de preservar la calidad del producto eléctrico, asegurando un suministro confiable de energía. Los parques de generación eólicos deben responder a tales pautas.

Entre las restricciones técnicas, está la de evitar la introducción de perturbaciones a la red que lleven a una disminución de la calidad del producto eléctrico entregado a los usuarios del mismo [3].

2. RESTRICCIONES TECNOLÓGICAS

Las restricciones tecnológicas hacen referencia entre otras, a la incapacidad de mantener una generación de energía estable, ya que la misma depende directamente del viento, que es un recurso discontinuo [1], a menos que se cuente con una tecnología de inversores conectada a bancos de baterías de dimensiones adecuadas a la potencia de los equipos generadores [4]. Esta solución, utilizada generalmente en equipos de velocidad variable [2], permite desacoplar la velocidad de giro del rotor, de la frecuencia de salida del aerogenerador, permitiendo un mayor aprovechamiento del viento. En cuanto a la calidad de la energía extraída, se menciona la introducción de efectos perturbadores como armónicos, interarmónicos, flicker, etc. Conduciendo a la utilización de este tipo de tecnología para el abastecimiento de zonas aisladas, no correspondiendo al caso planteado, ya que el presente trabajo, considera el acceso al sistema de transporte de energía eléctrica, permitiendo la utilización de la energía generada en cualquier punto, siendo el nodo más cercano el correspondiente a la estación transformadora Cavic de San Juan, el cual recibe el aporte energético de algunas fuentes locales de la provincia, resultando insuficiente, por lo que acude a la importación de energía desde la ciudad de Mendoza, por medio de dos vínculos, uno en 132KV y otro en 220KV, que resultan insuficientes, dado el creciente aumento de la demanda en la Provincia de San Juan.

Otra de las restricciones, en caso de contar con un generador de inducción, corresponde a la incapacidad de generar el reactivo necesario, útil para lograr una adecuada transferencia de energía eléctrica de un punto a otro, a través de una línea, pudiendo salvarse dicha restricción, mediante la utilización de bancos de compensación adecuados, los cuales pueden ser conectados y desconectados, de acuerdo a un valor prefijado de $\cos\varphi$ en el equipo de control, pudiendo realizar un comando a distancia en función de las necesidades del sistema de transporte.

Se resalta la ventaja de los generadores asincrónicos sobre los sincrónicos, ya que los primeros no necesitan de sofisticados mecanismos de sincronización para su conexión al sistema de transporte, pues una leve variación de frecuencia o fase, entre la tensión del generador y la del sistema de transporte, se traduciría en un valor de resbalamiento, amortiguado por el propio generador, hasta llegar al equilibrio entre la potencia en el eje del rotor y la suministrada por el generador al sistema de transporte.

A pesar de las restricciones de disponibilidad producidas por el comportamiento del viento, los parques de generación eólicos, tienen prioridad de acceso al sistema de transporte, al igual que las demás fuentes de energía limpia que no posean capacidad de almacenamiento. A partir de lo expuesto y los patrones de variación de la demanda de energía eléctrica, las fuentes de energías alternativas no tienen la capacidad de seguir las variaciones de la demanda, dando solución a esta restricción a través de la interconexión con otras fuentes de energía y mejorando las tecnologías de almacenamiento y control.

Los sistemas eléctricos interconectados, exigen el aporte de energía por parte de las centrales despachadas para la regulación primaria y secundaria de frecuencia, en Argentina, se establece el 3% de la potencia despachada, lo cual es imposible de cumplir para aquellos generadores que dependen de recursos discontinuos, debiendo implementar soluciones alternativas dentro del mismo predio o incrementar la potencia disponible para regulación en las centrales convencionales.

Se puede almacenar capacidad de regulación, en generadores sujetos a recursos discontinuos, mediante la conexión de bancos de resistencias, procurando escalonar los pasos de manera tal que la potencia disipada sea del 3 a 5% de la generada. En caso de existir una variación de frecuencia, el equipo de control, deberá desconectar pasos del banco de resistencia en función del desbalance de frecuencia y la velocidad de variación de la misma.

La energía disipada, puede ser utilizada mediante la conversión a otro tipo de energía para su transporte o para alimentar procesos productivos necesitados de calor, considerando que los bancos de resistencia no necesariamente deben estar instalados dentro del predio del parque de generación, sino que puede ser ubicado dentro de una planta industrial conectada al sistema de transporte de

energía. Se resalta la necesidad de implementar un sistema de control que pueda ser manipulado directamente por el organismo encargado del despacho.

Otra solución a la regulación de frecuencia, consiste en la conexión de bancos de baterías conectados a equipos inversores, pudiendo al igual que la alternativa anterior estar instalados o no dentro del mismo emplazamiento de la central, siendo válidos los mismos requisitos de control.

Las alternativas anteriores, a diferencia de equipos que deban movilizar sistemas mecánicos para el incremento de potencia, poseen una respuesta inmediata brindando la posibilidad de implementar sistemas de control que reduzcan las perturbaciones ante las actuaciones.

3. INTERACCIÓN CON OTRA FUENTE DE ENERGÍA CERCANA

Lo anteriormente expuesto no considera la posibilidad de interactuar con otras fuentes de energía cercanas al parque eólico, entendiendo por cercana una baja impedancia de transferencia entre las dos centrales, dando paso a la necesidad de estudiar las influencias que provocan las centrales cercanas entre sí. Es primordial para la realización de dicho estudio, la definición del tipo de centrales vinculadas.

Para el presente trabajo, se procedió a estudiar las posibilidades de vinculación entre un parque de generación eólico y la central hidroeléctrica Cuesta del Viento. Se definieron las posibilidades de generación de las mismas, en función de la oferta de viento, erogaciones de agua y disponibilidad operativa.

3.1.Características técnicas de las centrales

Las centrales hidroeléctricas generan energía en función de las erogaciones de agua, que pueden o no ser reguladas, dependiendo de la naturaleza de la fuente de agua y la utilización de la misma a la salida de la central. Para el presente estudio se analiza la central hidroeléctrica de Cuesta del Viento ubicada en la provincia de San Juan y vinculada a la estación transformadora Cavic, por una línea de 157Km en 132KV. Está dotada de una turbina Kaplan, diseñada para trabajar con caudales superiores a 6 m^3/seg, con los cuales, se obtiene a una potencia de 2,5MW, la potencia nominal es de 10,3MVA / 8,8MW. El embalse es alimentado por el río Jachal con un aporte promedio de 18m^3/seg que le permite la regulación estacional del caudal erogado, utilizado para riego, haciéndolo previsible y a partir del cual, se derivan los valores de energía generada. Se destaca que la zona de Cuesta del Viento posee una importante oferta de eólica.

El parque de generación eólico, es un complejo proyectado de 4 MVA, calculado a partir de mediciones de velocidad del viento en la zona de Cuesta del Viento por un periodo de dos años. Se determinó la zona exacta y la potencia máxima de 750KVA por máquina a instalar, adoptando para el presente estudio un conjunto de 8 generadores de 500KVA. Para obtener la curva de carga diaria posible para el parque eólico, se calculó a partir de las velocidades medias por hora del viento registradas para distintas alturas, la potencia media por hora y por unidad de área, mediante la ecuación (1) [5]:

$$P_D / A = 0{,}5 \cdot \rho \cdot \sum_{i=1}^{n} V_i^{\,3} \cdot P(V_i) \qquad (1)$$

ρ: densidad del aire
Vi: velocidad del viento
P(Vi): probabilidad de ocurrencia

Se diferencia la potencia extraíble *PE* de la disponible *PD*, por medio del Límite de Betz “CP”, llamado coeficiente de potencia, que representa la eficiencia del rotor de la turbina eólica. Relacionando la curva de potencia de la máquina con la de distribución de frecuencias de clases de viento se determina para éste un valor de 0,2.

$$P_E / A = C_P \cdot P_D / A \qquad (2)$$

Con los valores límites de potencia activa y reactiva, que puedan ser obtenidos del parque, se construyó el diagrama de capabilidad, requerido por el OED, Organismo Encargado del Despacho, para realizar la programación de la generación, debiendo adoptar el tipo de generador a implementar, por lo que se realizó un relevamiento de las tecnologías actuales del mercado, indicando el uso masivo de generadores asincrónicos, para las potencias cercanas a la adoptada de 500 KVA. Se debió analizar la inyección de potencia reactiva requerida por este tipo de generador.

3.2. Solución al déficit de generación de reactivo inductivo

Considerando que los motores de inducción necesitan de una energía reactiva para la conformación del campo electromagnético, y que son incapaces de generarla por si solos, se debe contar con una fuente externa que la provea, estando provistos la mayoría de los generadores eólicos ofrecidos en el mercado de una serie de capacitores que se conectan y desconectan en paralelo a la salida del generador, comandados por un rele varimétrico, que mide el cosφ de la unidad, llevándolo a un valor predeterminado por el operador del sistema. Esto permitiría cumplir con el requerimiento de potencia reactiva por parte del generador asincrónico, debiendo destacar además, que el sistema de transporte de energía eléctrica, solicita la producción de energía reactiva adicional por parte de los generadores, con el objeto de establecer un perfil de tensiones adecuado en todos los nodos de la red de transporte de energía eléctrica, logrando una transferencia adecuada de energía desde los centros de producción a los de consumo. Frente a la necesidad de realizar una inyección adicional de potencia reactiva inductiva, se presentaron diversas alternativas entre las cuales, se mencionan:

a- Bancos de capacitores conectados a la salida del parque de generación
b- Generador sincrónico con sistema de regulación de la excitación

Entre estas alternativas, se considera de mayor aplicación la primera, ya que los costos de instalación, operación y mantenimiento son sustancialmente menores.

Otra alternativa sugiere la generación de energía reactiva inductiva con la central hidroeléctrica, válido solamente en aquellos momentos en los cuales el generador de la central hidroeléctrica se encuentra rotando y los límites térmicos y de estabilidad de la máquina lo permitan (diagrama de capabilidad del generador sincrónico de la central hidroeléctrica).

3.3. Análisis funcional del conjunto central hidroeléctrica - parque de generación eólico

Se realizaron estudios de funcionamiento que condujeran a la optimización en el uso de los recursos energéticos, siendo uno de ellos almacenable (agua en el embalse), introduciendo la posibilidad generar energía eléctrica a partir del agua, en momentos en los cuales la oferta de viento sea insuficiente, permitiendo la utilización racional de ambos recursos energéticos.

Esto se vería favorecido por el comportamiento periódico de los vientos en la zona de Cuesta del Viento, que los hace fácilmente previsibles, mostrando en la fig. 1 las velocidades medias del viento registradas [2] y [6].

El tipo de generador eólico de 500 KVA adoptado, comienza a generar con una velocidad del viento superior a los 4m/seg, implicando periodos de generación diarios superiores a 6:30 horas. En cuanto al embalse correspondiente a la central hidroeléctrica de Cuesta del Viento, recibe el aporte del río Jachal, con un caudal promedio de 18m^3/seg, correspondiendo dicho caudal al nominal de la turbina Kaplan de la central, la cual posee un amplio rango de regulación, ya que puede generar hasta 2,5MW con una erogación de 6m^3/seg, limitada por el umbral de cavitación.

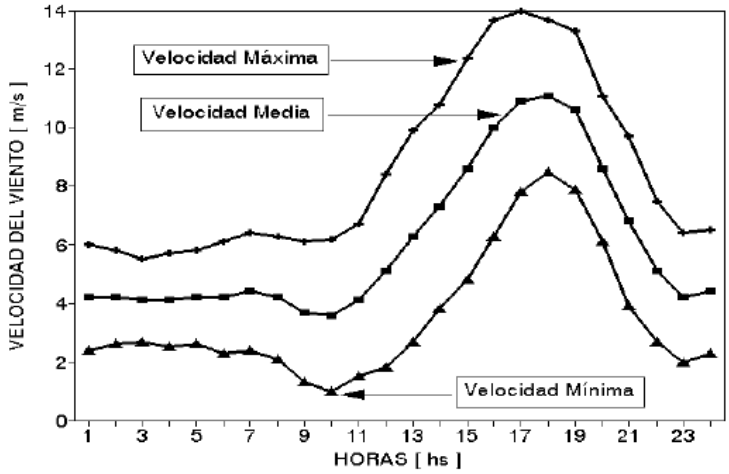

Fig. 1: velocidad media del viento en el día

Esto permitiría en años de escasez de agua, la reducción de los caudales erogados al mínimo de 6m^3/seg durante los periodos de mayor suministro por parte del parque eólico, logrando una generación de energía eléctrica por parte de central hidroeléctrica más acorde a las necesidades de agua para riego.

4. CONCLUSIONES

El parque de generación eólico contará con 8 maquinas de 500KVA, dotadas con generadores asincrónicos. En cuanto a la vinculación del parque de generación eólico de Cuesta del Viento, al sistema de transporte de energía eléctrica, reduciría en parte el déficit energético de la provincia de San Juan, permitiendo el uso racional del agua de riego en la zona de Jachal, utilizada para generar energía, mediante la definición de horarios de riego acorde a la oferta de viento. La provisión de energía reactiva requerida por el sistema de transporte, sería realizada por un equipo de compensación conectado a la salida del parque eólico, prescindiendo del intercambio energético con la central hidroeléctrica. Se utilizarán bancos de resistencias, sumando un total del 15% de la potencia nominal de cada máquina para regulación de frecuencia en caso de funcionamiento aislado, es decir desvinculado de la estación transformadora Cavic.

5. REFERENCIAS

[6] J. L. Rodriguez, M. E. Guerrero, M Ruiz, A. M. Gimenez, E. Sefair, *Determinación del Potencial Eólico en una Región de San Juan, Análisis Económico, Etapa Final* EOLASA 1997
[5] J. L. Rodriguez, M. E. Guerrero, M Ruiz, A. M. Gimenez, J. Carvajal, J. Vuanello, Diseño de un Aerogenerador de Baja Potencia *Generation*, ASADES 1998
[4] G. O. Suvire, P. E. Mercado, *Influencia de la Generación Dispersa Sobre la Seguridad de Operación y la Calidad del Producto Eléctrico* Cigre - Argentina 2005
[1] CIEMAT, Principios de Conversión de la Energía Eólica CIEMAT 1997
[3] J. L. Rodriguez, A. M. Gimenez, M. E. Guerrero, M. D. Ruiz, *Utilización de Energía Eólica de Baja Potencia*, INNOTEC 2004
[2] T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, Wind Energy Handbook John Wiley & Sons, Ltd. 2001

ABSTRACT *The growing electricity demand and in adhesions to the internationals Politics and Essential Background of the Kyoto protocol, lead to search clean energy sources, such as wind energy. These sources must be controlled so that the quality of the resulting electric product is compatible with the consumer's needs. The power stations are interconnected and some technical*

aspects as the supply of reactive power, primary and secondary regulated capacity, etc. must be fulfilled. This supply depends on the kind of technology implemented, they determinate the best solution of this aspects and the relationship with the other requirements. It is analyzed the possibility of a direct link between a 4MVA wind park and a 10,3MVA hydroelectric power stations, with regulation capacity, sharing the same connector to the power transport system. The conclusion is that for the wind park an induction generator with a compensation system based on controlled capacitors banks must be used, introducing the possibility of supplying reactive energy to the system without generating active energy. As for the linking of power stations, basic generation patterns were determined for the hydroelectric one, based on wind availability and water requirements for irrigation leveling the generation profile of the interconnected power stations.

Keywords: Electric Generation, Eolic Induction Generators, Reactive Power, Interconnection, Energy Transmission.