

Caso de estudio:

Impacto de eventos externos en aerogeneradores y aplicación real

Autores: Ing. Johan Valverde - Ing. Danny Alvarado

SINOPSIS

La energía eólica ha experimentado un crecimiento significativo a nivel mundial, ofreciendo una alternativa a los combustibles fósiles. Sin embargo, la integración de esta tecnología a la matriz energética presenta serios desafíos técnicos en la red eléctrica, como la calidad y confiabilidad del sistema [1].

Los aerogeneradores son sistemas complejos que operan bajo condiciones ambientales rigurosas, por lo que están sujetos a fallas debido a condiciones de operación y del entorno. Los eventos externos críticos incluyen: condiciones extremas de viento, que comprometen la integridad estructural; descargas atmosféricas, que afectan severamente los componentes electrónicos y de control; y perturbaciones en la red eléctrica, que imponen desafíos de estabilidad de voltaje y calidad de potencia [2].

IMPACTO DE EVENTOS EXTERNOS EN AEROGENERADORES

El impacto de los eventos externos en los aerogeneradores puede clasificarse en riesgos mecánicos, riesgos electrónicos y riesgos de integración a la red.

- **Riesgos estructurales y mecánicos por viento extremo**

Las condiciones extremas del viento son la causa más común de colapso de torres. En el caso de presencia de eventos como rampas de viento y turbulencia extrema, donde la velocidad del viento aumenta significativamente en segundos o minutos, pueden afectar sustancialmente el rendimiento de las turbinas [3].

- **Riesgos por descargas atmosféricas**

Las descargas atmosféricas son un factor natural recurrente que representa un riesgo para las estructuras altas, incluyendo los aerogeneradores.

- **Daño al equipo:** Los rayos son una de las principales causas de interrupciones forzadas en los sistemas de transmisión [4].
- **Componentes afectados:** Aunque los impactos directos pueden causar daños graves en las aspas, el daño más común es en el sistema de control [4].

- **Riesgos de integración a la red**

La interconexión de grandes parques eólicos introduce desafíos técnicos relacionados con la calidad y la estabilidad del sistema eléctrico.

- **Comportamiento ante Cortocircuitos (SC):** La respuesta de la planta eólica ante un cortocircuito varía según el tipo de generador.

- En los aerogeneradores Tipo 1 y 2, la corriente de cortocircuito está determinada por las características físicas del generador de inducción [5].
- En los aerogeneradores Tipo 3 (DFIG), la controlabilidad del convertidor de potencia se ve significativamente comprometida durante un evento de falla, especialmente si ocurre cerca del generador [5].
- **Soporte de Baja Tensión (LVRT):** La tendencia moderna es exigir que los aerogeneradores permanezcan conectados a la red durante las perturbaciones de voltaje, debido a que la desconexión de un gran parque eólico podría tener un efecto grave en la operación del sistema [5].

CASO REAL: FLUCTUACIONES DE VOLTAJE DEBIDO A LA NATURALEZA VARIABLE DEL VIENTO

El problema de las fluctuaciones de voltaje debido a la naturaleza variable del viento se aborda técnicamente a través del diseño de los aerogeneradores modernos, como los de Configuración Tipo 3 (DFIG), que son los utilizados en el Parque Eólico Los Santos [1].

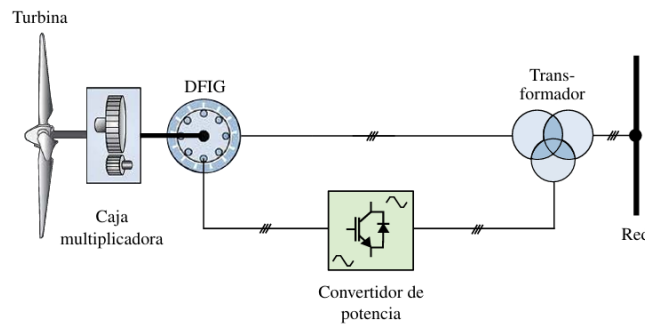


Figura 1: Aerogenerador tipo 3

Control de la calidad de la potencia

La variabilidad inherente del viento genera fluctuaciones de potencia. La tecnología DFIG (Tipo 3) se desarrolló precisamente para manejar estos desafíos, ofreciendo:

- **Velocidad Variable:** Permite una operación de velocidad semivariable y un rendimiento dinámico mejorado [1].
- **Control Independiente de Potencia:** Gracias a la utilización de un convertidor de potencia parcial en el circuito del rotor, el DFIG permite el control independiente e instantáneo de la potencia real y reactiva dentro de los límites de diseño. Esto significa que, a diferencia de los generadores Tipo 1 y 2, que consumen potencia reactiva de la red, el DFIG generalmente no necesita compensación de potencia reactiva [1].
- **Armónicos:** A pesar de las ventajas, el uso de convertidores electrónicos de potencia hace que la presencia de armónicos sea inevitable [1].

Respuesta ante la inestabilidad del voltaje

Aunque el DFIG está diseñado para una integración flexible a la red y capacidad de superar caídas de tensión (LVRT), las perturbaciones eléctricas severas o las fluctuaciones extremas de voltaje ponen a prueba su sistema de control [1]:

- Falla del Convertidor: En un evento de falla que cause una caída de voltaje (como un cortocircuito), la controlabilidad del convertidor de potencia se compromete significativamente [5].
- Protección y Afectación del Sistema: Para proteger el sistema de sobretensión se utiliza un interruptor llamado crowbar. Esta intervención demuestra que, incluso con la tecnología avanzada del DFIG, las fluctuaciones extremas de voltaje causadas por perturbaciones externas fuerzan al sistema a adoptar modos de protección que limitan la capacidad de control [5].

CONCLUSIONES

Los aerogeneradores enfrentan diversos eventos externos que condicionan su confiabilidad y diseño. Los fenómenos meteorológicos extremos son la principal causa de fallas estructurales y generan cargas severas que deben considerarse en el diseño. Las descargas atmosféricas afectan sobre todo los sistemas de control y componentes electrónicos. Además, en los aerogeneradores Tipo 3 (DFIG), las caídas de voltaje de la red limitan el rendimiento del convertidor y obligan a usar protecciones especializadas, evidenciando la estrecha dependencia entre el aerogenerador y la estabilidad de la red.

Referencias

- [1] A. A. Solano Artavia and C. A. Ramos Fernández. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad en aerogeneradores doblemente alimentados, November 2022.
- [2] Y. Ma, P. Martinez-Vazquez, and C. Baniotopoulos. Wind turbine tower collapse cases: A historical overview. *ICE Proceedings: Structures and Buildings*, 2018.
- [3] M. Kelly, S. J. Andersen, and Á. Hannesdóttir. Statistical impact of wind-speed ramp events on turbines, via observations and coupled fluid-dynamic and aeroelastic simulations. *Wind Energy Science*, 6(5):1227–1245, 2021.
- [4] G. Mello, M. F. Dias, and M. Robaina. Effects of atmospheric discharges on wind farms performance: a review study. *Renewable Energy Environmental Sustainability*, 7(21), 2022.
- [5] E. Muljadi, N. Samaan, V. Gevorgian, J. Li, and S. Pasupulati. Short circuit current contribution for different wind turbine generator types. In *Conference Record – IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)*, November 2010.