

ADAPTACIÓN DE EÓLICOS A HUECOS DE TENSIÓN EN CANARIAS – 2015

WIND POWER ADAPTED TO LOAD HOLLOW IN THE CANARY ISLANDS – 2015



Recibido: 08/12/07
Aceptado: 11/02/08

Alfredo Rodríguez Velázquez
Ingeniero Superior Industrial
RED ELÉCTRICA DE
ESPAÑA, S.A.

RESUMEN

Este artículo analiza y pone de manifiesto los beneficios que aporta, a los sistemas eléctricos insulares de **Canarias**, la adaptación de la tecnología eólica, tanto actual como futura, al hueco de tensión requerido por el **Gobierno de Canarias** en la Orden 1541, de 15 de noviembre de 2006 [5]. Este aspecto resulta de vital importancia ante el creciente volumen de potencia eólica prevista en el *Plan Energético de Canarias 2006* (PECAN) y que convertirá a **Canarias** en un sistema piloto en lo que a integración de energía eólica en sistemas aislados se refiere.

Palabras clave: energía eólica, hueco de tensión, adaptación, estabilidad, deslastre de carga.

ABSTRACT

This article is intended to analyse and point out the benefits that could be reached for the Canary Islands electrical systems in relation to wind technology adaptation (actual and future) to the voltage hollow, as required by the Canary Islands Government Directive 1541, dated November 15th 2006. This subject is of vital importance due to the increasing volume of wind power plants foreseen in the Energy Plan for the Canary Islands 2006 (PECAN), who will turn the Canary Islands into a pilot system in relation to wind power integration within an isolated system.

Key words: wind energy, voltage hollow, adaptation, stability, load shedding.

1.- INTRODUCCIÓN

La gran preocupación que suscita en los últimos tiempos la posibilidad de cambio climático, provocado, entre otros factores, por los gases resultantes del consumo de combustibles fósiles, ha propiciado que los gobiernos adopten medidas encami-

nadas a reducir las emisiones de dichos gases.

En este sentido, tanto desde organizaciones privadas, como desde las administraciones públicas, se apuesta cada vez más por las llamadas energías renovables, las cuales utilizan, como energía primaria, fuentes de energía tales como el viento, el sol, las mareas, etc.

En esta línea, el *Gobierno de Canarias* propone en el *Plan Energético de Canarias* (PECAN) [1] la instalación de un total de 1.025 MW de potencia eólica en el horizonte 2015 para el total de los Sistemas Eléctricos Insulares (SEI) canarios, lo que supone hasta un 37,5% de la punta de potencia demandada, prevista para dicho horizonte, en **Canarias**.

Teniendo en cuenta las características de los SEI canarios (sistemas aislados, de tamaño reducido-mediano), la integración de toda esta potencia eólica supone un reto sin parangón hasta la fecha, a nivel mundial y que situaría a **Canarias** a la cabeza mundial de la integración eólica en sistemas aislados.

Se ha optado por el sistema eléctrico de Gran Canaria, puesto que, tanto actualmente como al horizonte 2015, es el sistema eléctrico con mayor potencia eólica instalada

Sin embargo, para poder maximizar esta integración de potencia eólica, es necesario que dicha generación se comporte adecuadamente frente al conjunto del sistema y no implique una merma en las condiciones de seguridad y calidad de suministro de la energía eléctrica.

A continuación se analizan los efectos que sobre el sistema eléctrico de **Gran Canaria** puede llegar a tener la generación eólica en el horizonte 2015.

2.- CONSIDERACIONES INICIALES

Se ha optado por el sistema eléctrico de **Gran Canaria**, puesto que, tanto actualmente como al horizonte 2015, es el sistema eléctrico con mayor potencia eólica instalada. De los 1.025 MW el PECAN contempla 411 MW para **Gran Canaria**, lo que supone una penetración de la tecnología eólica de hasta un 38% sobre la punta de demanda prevista para **Gran Canaria** en 2015.

Se analizan tanto los casos de punta de demanda como de valle para dicho horizonte 2015, comparando el comportamiento, ante cortocircuitos, de dos tipos de generadores eólicos distintos, en función de que éstos estén, o no, adaptados tecnológicamente a los requisitos del hueco de tensión que recoge el artículo 11 de la Orden 1541 [5] de la *Consejería de Industria del Gobierno de Canarias*.

Se simula la aplicación de un cortocircuito trifásico en la barra del nudo Bco. de Tirajana II 220 kV, contemplado en la propuesta de Planificación [2], por considerarse suficientemente significativo. En este nudo se supone acoplado el segundo ciclo combinado de **Gran Canaria**.

futuros) a los requisitos del hueco de tensión hace que estos deban aguantar Opu de tensión durante 0,5s.

Se plantea, para el horizonte 2015, un total de cinco nudos de evacuación de potencia eólica: **Matorral, Carrizal, Aldea Blanca, Arinaga y Guía**.

3.- CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO EN BARRAS DE BCO. DE TIRAJANA II 220 KV

3.1.- SITUACIÓN DE PUNTA DE DEMANDA

Se simula la incidencia de un cortocircuito trifásico en barras de esta subestación de Bco. de **Tirajana II 220 kV**, despejado correctamente en 100 ms.

Las figuras a continuación muestran la potencia mecánica y eléctrica, así como la carga del sistema y la frecuencia tras la simulación del cortocircuito anteriormente mencionado.

En la figura 2 se representan los resultados de la simulación en la que

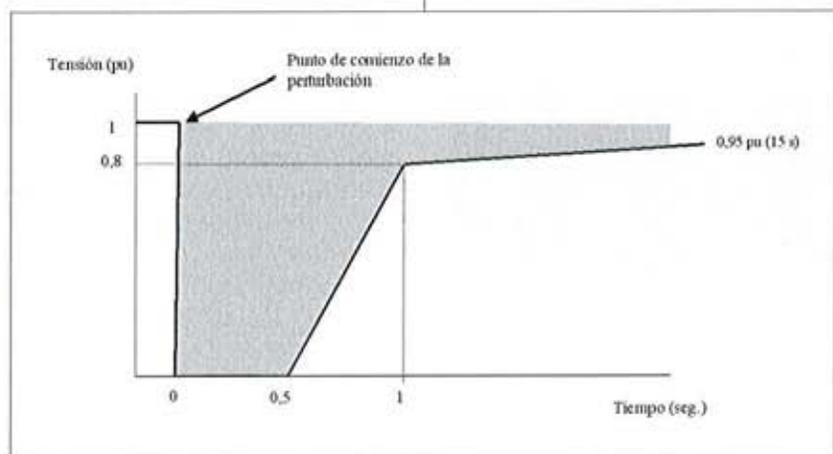


Figura 1.- Hueco de tensión requerido por la Orden 1541 del Gobierno de Canarias

En el primer caso se supone que los eólicos, tanto actuales como futuros, no se encuentran adaptados a dichos requisitos relativos a los huecos de tensión, estando sus relés de mínima tensión ajustados a una tensión tipo de 0,80pu (valor por unidad) durante 2,8s.

Por otra parte, en el segundo caso, la adaptación tecnológica de los parques eólicos (tanto actuales como

los eólicos no se encuentran adaptados tecnológicamente a los requisitos del hueco de tensión.

Se observa como el sistema no alcanza una situación estable tras el transitorio de la pérdida del nudo.

En la figura 2a se, muestra el detalle del comportamiento del sistema durante el transcurso del cortocircuito.

La frecuencia mínima que se registra es de 47,3 Hz, activándose tan-

to los relés de deslaste de carga por mínima frecuencia (el primer escalón se activa a los 49 Hz), como demuestran los escalones de la curva roja (PLOAD).

El deslaste de carga total registrado supone un 35% de la demanda total del sistema. Esta pérdida de mercado resulta inadmisibles, desde el

Además, se puede observar como, pasados 15 segundos, el sistema continúa oscilando y no ha alcanzado una situación de equilibrio.

Asimismo, se registra el disparo de todos los parques eólicos por actuación del relé de mínima tensión, puesto que se supera el límite inferior de tarado de los mismos (0,8pu).

torral durante el cortocircuito, que llega a valores de 0,48pu, muy inferiores al valor de tarado del relé.

La curva verde representa la tensión en terminales (ETRM) del parque eólico.

Se concluye, por lo tanto, que ante esta perturbación el sistema no consigue alcanzar una situación de estabilidad tras el despeje del corto-

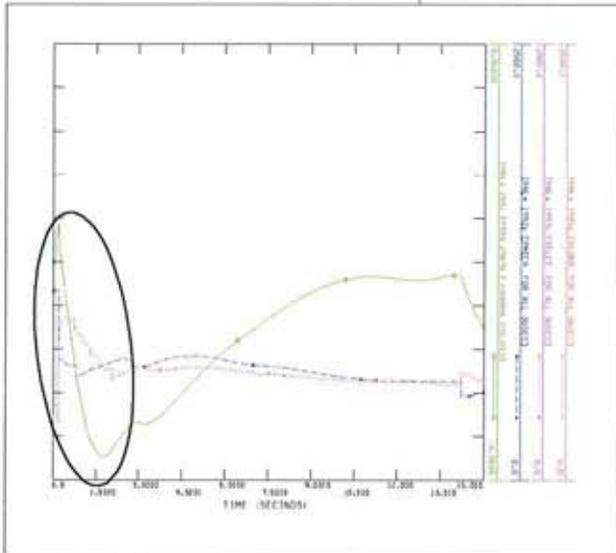


Figura 2.- Simulación con eólicos tecnológicamente no adecuados.

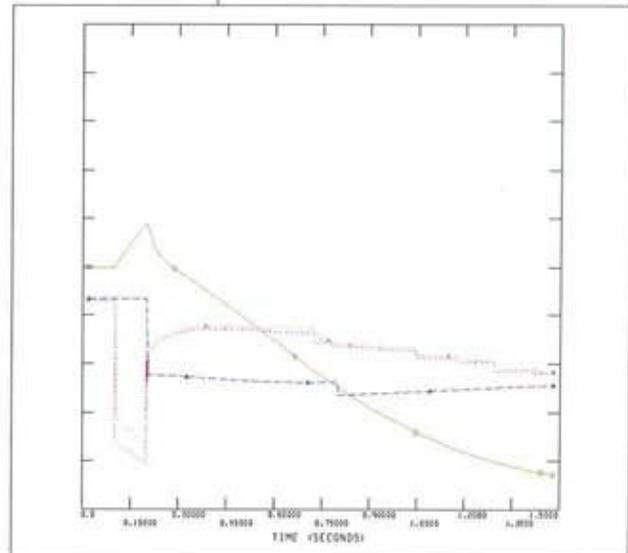


Figura 2a.- Detalle del comportamiento del sistema durante el cortocircuito.

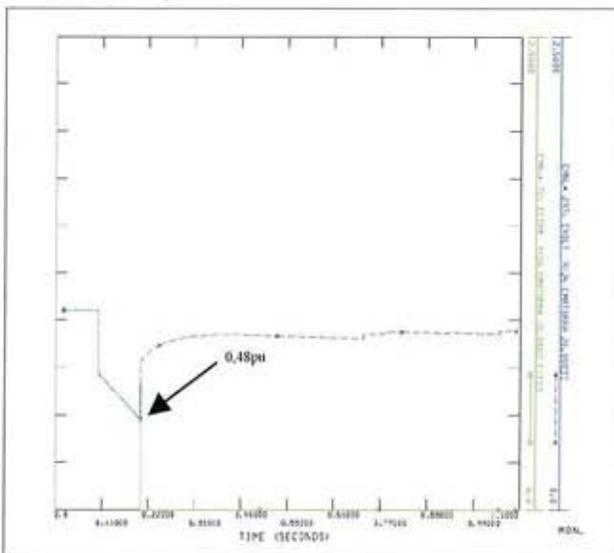


Figura 3.- Huevo de tensión registrado en Matorral.

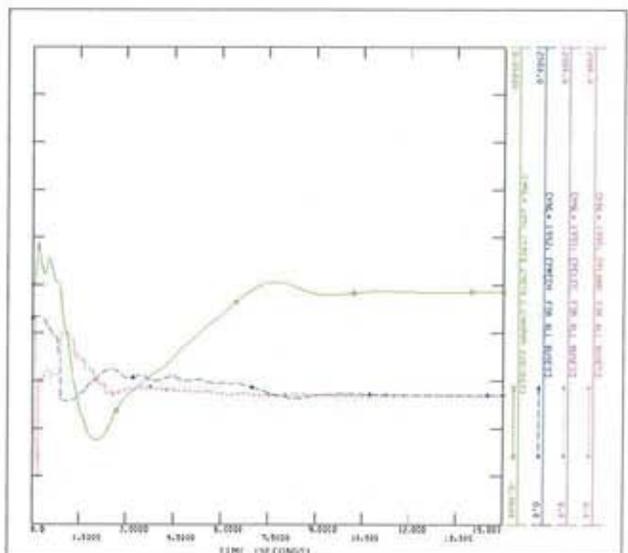


Figura 4.- Simulación con eólicos tecnológicamente adecuados.

punto de vista de estabilidad transitoria, tal y como se establece en el apartado 3.1.3.3. del PO-SEIE 13 [3].

Como ejemplo de ello, se puede comprobar en la figura 3 el hueco de tensión registrado en el nudo de Ma-

torral, pudiendo llegarse al colapso y producirse un cero absoluto en el mismo.

Por otro lado, se plantea la adecuación tecnológica de los parques eólicos (tanto existentes, como futuros), de manera que puedan cumplir, entre otros requisitos, con el hueco

ga, **Matorral** y **Guía**, un 60% del total instalado, frente al 100% registrado en el caso anterior.

El disparo por mínima tensión de este contingente de generación eólica

se mantiene, en todo momento, dentro de la característica del hueco de tensión, evitándose, de esta manera, el disparo de los mismos, tal y como se puede comprobar en la figura 6.

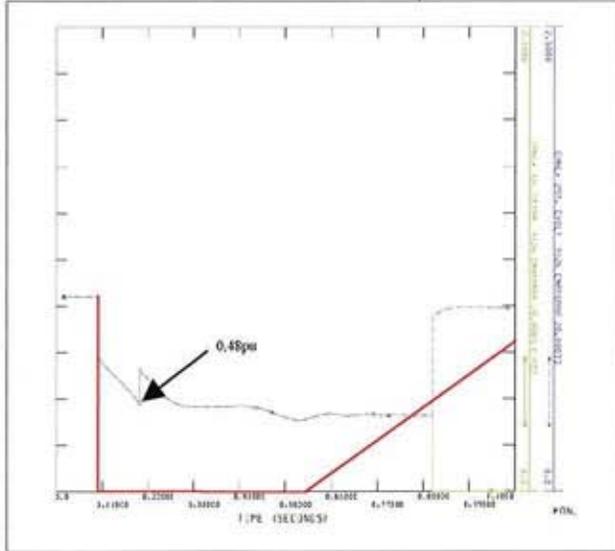


Figura 5.- Hueco de tensión registrado en Matorral.

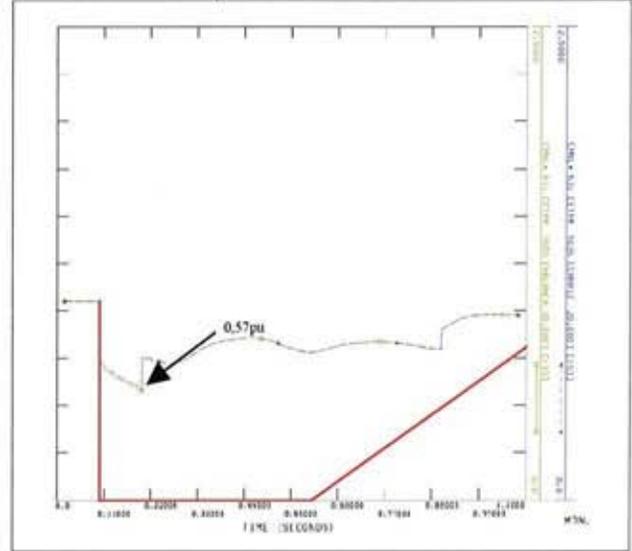


Figura 6.- Hueco de tensión registrado en Aldea Blanca y Carrizal.

de tensión recogido en la Orden 1541 [5]. Por lo tanto, en este caso, como se ha adelantado, los parques eólicos deben aguantar 0pu de tensión durante 0,5s, recuperándose hasta 0,8pu. al cabo de 1s.

En la siguiente figura 4 se representan los mismos canales mostrados en la figura 2 para la simulación del mismo incidente.

La frecuencia mínima registrada en este caso es de 48 Hz que, aunque inferior a los 49 Hz de activación de los relés de deslastre, resulta considerablemente mayor que los 47,3 Hz registrados en el caso anterior.

En este caso, el deslastre total de carga registrado alcanza un 28% de la demanda total del sistema.

En la figura 4 se observa como el sistema alcanza una situación de equilibrio estable tras el despeje de la falta.

Asimismo, en este caso no se registra el disparo de todos los parques eólicos. Únicamente se registra el disparo de aquellos parques que vierten su energía en los nudos de **Arina-**

se debe a que, a pesar de que el hueco de tensión registrado en el nudo de **Matorral** alcanza un valor similar al observado en el caso anterior (0,48pu.) (Figura 5) y que debería ser soportado por los parques, la tensión en terminales del parque (ETRM) cruza la característica del hueco de tensión cuando debería encontrarse en proceso de recuperación, tal y como se puede observar, provocando el disparo de estos parques por actuación del relé de mínima tensión.

En el caso de los parques acoplados a los nudos de **Aldea Blanca** y **Carrizal** la tensión en sus terminales

Sin embargo, en este caso, a pesar de contar con una disminución considerable de la pérdida de mercado y de los parques eólicos disparados y alcanzar una situación de equilibrio estable tras el despeje de la

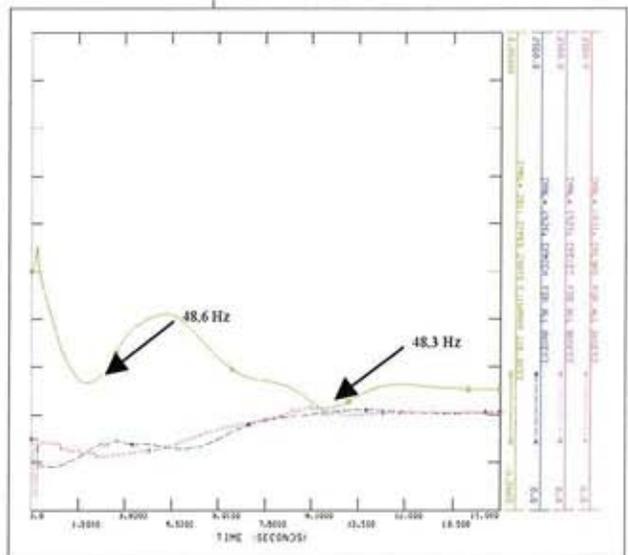


Figura 7.- Simulación con eólicos tecnológicamente no adecuados.

falta, resulta también inadmisibles, según lo que establece el PO-SEIE 13 [3], puesto que la pérdida de mercado, por la actuación de relés de deslastre de carga por frecuencia, es superior al 10%.

De esta comparación se concluye la necesidad, para la seguridad del

Estos grupos son, básicamente, las turbinas de vapor y los ciclos combinados.

Esta consideración implica una limitación en la potencia eólica que efectivamente "cabe" en el sistema.

En la primera situación, en la que los parques eólicos no se encuentran

En este caso, a pesar de que el sistema presenta oscilaciones, estas son de menor magnitud, registrándose, asimismo, menores valores de subfrecuencia.

La frecuencia mínima alcanzada es de 48,8 Hz, registrándose un deslastre de carga equivalente al 9,3% de

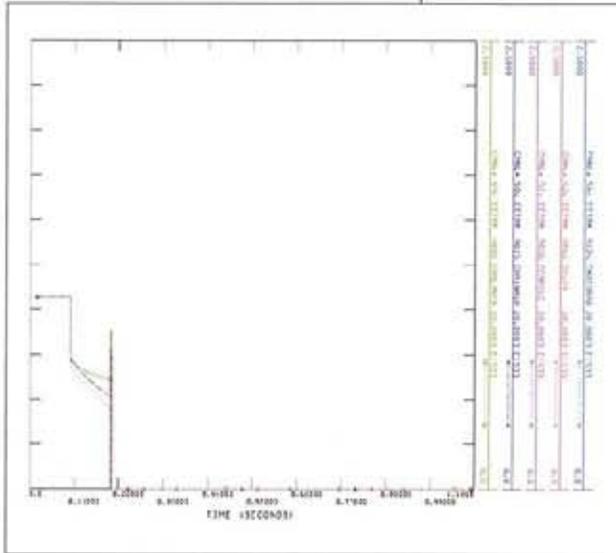


Figura 8.- Tensión registrada en Bornes de los parques eólicos.

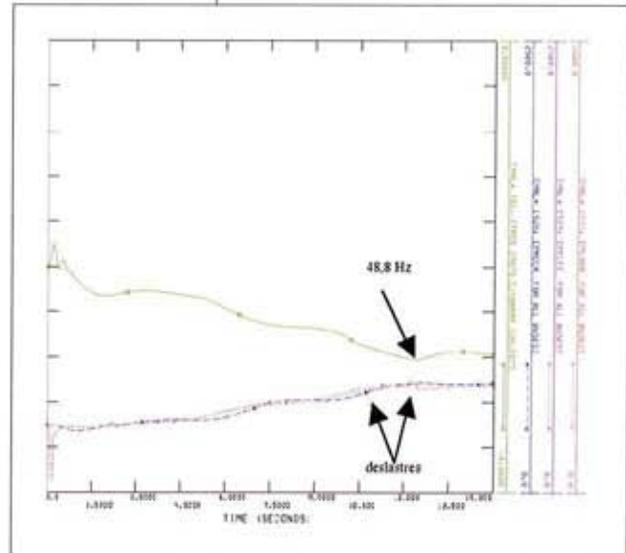


Figura 9.- Simulación con eólicos tecnológicamente adecuados.

sistema, que los parques eólicos cumplan con los requisitos establecidos en la mencionada Orden y se ajusten al hueco de tensión exigido, puesto que, aunque ambos casos resulten inadmisibles, la adecuación de los parques eólicos supone una mejora considerable en la situación global del sistema, llegándose a situaciones de equilibrio tras el despeje de la falta considerada.

3.2.- SITUACIÓN DE VALLE DE DEMANDA

En los valles, debido al reducido valor de la demanda, resulta necesario desacoplar grupos generadores de la red. Sin embargo, determinados grupos no pueden ser desacoplados por las noches, puesto que resultan necesarios para la cobertura de las puntas del día siguiente y sus tiempos de parada y arranque hacen inviable que se pueda plantear su acople / desacople diario.

tecnológicamente adaptados, se observa como el sistema mantiene oscilaciones tras el despeje de la falta.

La figura 7 representa los mismos canales representados inicialmente en la figura 2.

La frecuencia, alcanza valores de 48,6 Hz y 48,3 Hz, provocando la activación de los relés de deslastre de carga.

En este caso, el deslastre de carga registrado asciende a un 28% de la demanda del sistema (inadmisibles según los criterios del PO-SEIE 13 [3]).

Al igual que ocurría en el caso punta, en esta situación, puesto que los relés de mínima tensión de los parques está ajustado a un valor de 0,8pu, se produce el disparo de todos los parques eólicos (Figura 8).

Por otra parte, en el caso en que los eólicos se encuentren tecnológicamente adaptados, la situación del sistema es la que se muestra a continuación (Figura 9).

la demanda (< 10%). Se observa, también, como los deslastres de carga se presentan en una fase más tardía, en la que el sistema, aparentemente, se encuentra en fase de recuperación.

Además, en este caso no se produce el disparo de ningún parque eólico. En la figura 10 se puede comprobar como la tensión de todos los parques eólicos se mantiene dentro de la característica del hueco de tensión descrito en la figura 1.

Todos los parques acoplados soportan el hueco de tensión y se recuperan, sin problema aparente, tras el despeje correcto de la falta simulada.

A pesar de que, desde el punto de vista de los deslastres de carga, la situación del sistema tras el despeje de la falta se pudiese considerar admisible, como se puede comprobar en la figura 9, el sistema no alcanza, aparentemente, una situación de equilibrio estable.

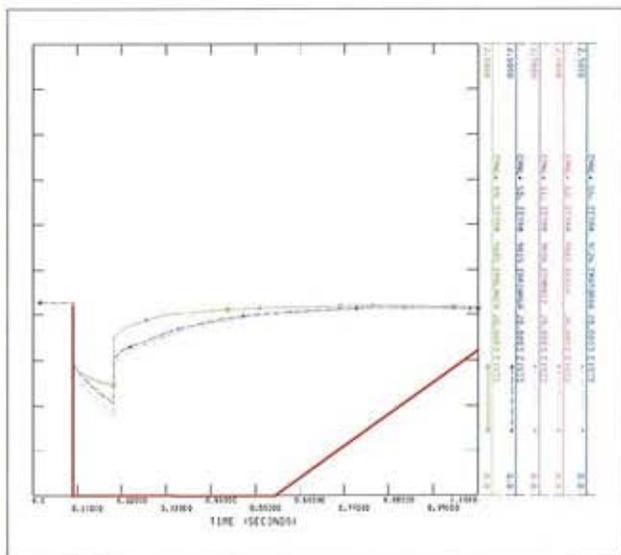


Figura 10.- Tensión registrada en bornes de los parques eólicos.

4.- CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente estudio son válidas para el sistema eléctrico analizado (**Gran Canaria**), aunque es de prever que sean extensibles a sistemas similares al estudia-

do, es decir, sistemas aislados de reducido tamaño y con gran volumen de penetración eólica.

do, es decir, sistemas aislados de reducido tamaño y con gran volumen de penetración eólica.

En el análisis anterior se comprueba como, teniendo en cuenta las previsiones de integración de eólica para los próximos años en el sistema eléctrico de **Gran Canaria**, resulta imprescindible una adaptación de esta tecnología de generación en particular y de las energías renovables en general, de manera que puedan con-

tribuir a mejorar (o por lo menos no empeorar) las condiciones del sistema ante incidentes. Se ha podido demostrar como, en el caso punta de **Gran Canaria** analizado, la situación del sistema mejora considerablemente al considerar los eólicos adaptados (menores deslastes de carga, menores oscilaciones, menos parques disparados), a pesar de que los deslastes de carga registrados conlleven la inadmisibilidad de ambas situaciones. Sin embargo, el caso más crítico es el que considera al sistema en su situación de valle, puesto que el sis-

tema cuenta con menor inercia, debido al menor número de generadores convencionales acoplados, resultando de esta forma más vulnerable ante incidentes. Además, debido a las restricciones en los acoples y desacoples de determinados grupos, resulta imprescindible limitar la producción eólica durante estos periodos.

En este caso se comprueba como la adaptación tecnológica de la eólica, frente a huecos de tensión como el

descrito en la Figura 1, resulta aún más importante que en la situación de punta. Se pasa de perder la totalidad de los parques eólicos por actuación de los relés de mínima tensión, a mantenerse todos acoplados por no sobrepasar la característica del hueco de tensión.

tribuir a mejorar (o por lo menos no empeorar) las condiciones del sistema ante incidentes. Se ha podido demostrar como, en el caso punta de **Gran Canaria** analizado, la situación del sistema mejora considerablemente al considerar los eólicos adaptados (menores deslastes de carga, menores oscilaciones, menos parques disparados), a

5.- GLOSARIO DE TÉRMINOS

Hueco de tensión: Descenso brusco de la tensión en un punto de una red de energía eléctrica, seguido de un restablecimiento de la tensión, después de un corto período de tiempo de algunos periodos o varios segundos. [6]

Deslaste de carga: Desconexión deliberada de ciertas cargas preseleccionadas de un sistema, de forma manual o automática, como consecuencia de condiciones anormales de funcionamiento, para preservar la integridad de dicho sistema y minimizar las interrupciones masivas de servicio a los consumidores. [6]

Pérdida de mercado: Demanda eléctrica total desconectada del siste-

En los valles, debido al reducido valor de la demanda, resulta necesario desacoplar grupos generadores de la red



La gran preocupación que suscita en los últimos tiempos la posibilidad de cambio climático, provocado, entre otros factores, por los gases resultantes del consumo de combustibles fósiles, ha propiciado que los gobiernos adopten medidas encaminadas a reducir las emisiones de dichos gases

ma, de manera intencionada y/o involuntaria, como consecuencia de condiciones anormales de funcionamiento del mismo.

Nudo de evacuación de potencia:

Punto del sistema eléctrico (subestación) donde los generadores próximos vierten su potencia generada a la red eléctrica.

Cortocircuito en barras: Perturbación con derivación de intensidad a

tierra o a otras fases en un sistema de potencia, con posible daño en el elemento afectado y en otros adyacentes, y pérdida de estabilidad del sistema [6]. En este caso, al producirse en las barras de la subestación, implicará la pérdida (desconexión), como mínimo, de todos los elementos conectados a la misma (líneas, transformadores, generadores,...).

Pérdida del nudo: Desconexión, generalmente involuntaria, de todos los elementos conectados al nudo (subestación), como consecuencias de condiciones anormales de funcionamiento, y que suponen el aislamiento de dicho nudo del resto del sistema eléctrico.

Sistema aislado: Sistema eléctrico no interconectado eléctricamente con sistemas próximos o adyacentes. En el caso de **Canarias**, existen seis sistemas eléctricos aislados, uno en cada isla, excepto **Lanzarote** y **Fuerteventura**, que están unidas mediante cable submarino, formando un único sistema eléctrico.

6.- BIBLIOGRAFÍA

[1] Plan Energético de Canarias (PECAN), aprobado por el Gobierno de Canarias el 20 de junio de 2006.

[2] Planificación de los Sectores de Electricidad y Gas 2007 – 2016. Desarrollo de las redes de transporte.

Primer borrador. 30/07/2007. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

[3] Procedimientos de Operación de los Sistemas Eléctricos Insulares y Extrapeninsulares (PO-SEIE), aprobados mediante Resolución de 28 de abril de 2006, de la Secretaría General de Energía. Publicados en el BOE de 31 de mayo de 2006.

[4] Orden ITC 2675/2006, de 1 de agosto, por la que se inicia el procedimiento para efectuar propuestas de desarrollo de la red de transporte de energía eléctrica, de la red básica de gas natural y de las instalaciones de almacenamiento de reservas estratégicas de productos petrolíferos. Publicado en BOE 196 de 17 de agosto de 2006.

[5] Orden 1541, de 15 de noviembre de 2006, por la que se regulan las condiciones técnico – administrativas de las instalaciones eólicas ubicadas en Canarias. Consejería de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías del Gobierno de Canarias. Publicado en BOC del 20 de noviembre de 2006.

[6] MARTÍN MUNICIO, Ángel; COLLINO MARTÍNEZ, Antonio. *Diccionario Español de la Energía*. Madrid: DOCE CALLES, 2003. ISBN: 84-9744-025-0. ■

