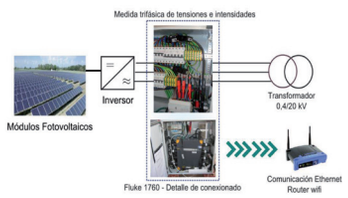
Integración de recursos renovables y requerimientos de conexión en el sistema eléctrico Español: análisis de datos en instalaciones fotovoltaicas



INTEGRATION OF RENEWABLE RESOURCES UNDER SPANISH GRID CODE REQUIREMENTS: STUDY OF REAL DATA MEASUREMENTS IN PV POWER PLANTS

DOI: http://dx.doi.org/10.6036/7114 | Recibido: 07/03/2014 • Aceptado: 09/07/2014

Tania García-Sánchez [1], Emilio Gómez-Lázaro [1], Ángel Molina-García [2]

[1] Universidad de Castilla La Mancha. Instituto de Investigación en Energías Renovables. Escuela de Ingenieros Industriales de Albacete. C/ Investigación, s/n - 02071 Albacete. Tfno: +34 967 599200. tania.garcia@uclm.es

[2] Universidad Politécnica de Cartagena. Dpto. de Ingeniería Eléctrica. C/ Dr. Fleming, s/n - 30202 Cartagena. Tfno: +34 968 32 5462. angel.molina@upct.es

ABSTRACT

• The integration of renewable energy resources into power systems have increased considerably along the last decade, mainly encouraged by the development of new technical solutions and policies promoted as a way to reduce the energy dependence from third-countries. For the Spanish case, the remarkable penetration of renewable energy sources has been mainly driven by wind and photovoltaic power plants. As a result of these relevant modifications in the mix of generation, a set of changes in the grid-code requirements have been proposed by most governments and mainly focused on renewable energy resources connected to the grid and submitted to disturbances (voltage dips). Additionally, the last draft issued by the Spanish Transmission Operator System (REE) has provided modifications and new requirements aiming to support even more severe disturbances and voltage dips. Under this scenario, the present paper discusses the evolution of wind farms and PV power plants in the Spanish power system, describing the requirements and electrical behaviors of these sources under disturbances. Both active and reactive power limits have also described in the paper, including disconnection constraints.

Real field-test measurements carried out along several years in different Spanish PV power plants provide a realistic comparison between collected data and current grid-code requirements. This study, also included in the paper, offers a preliminary analysis regarding the severity of grid-code requirements in comparison with real disturbances. Moreover, these data give additional information in reference to the inverter performance under the presence of disturbances, and their electrical behavior in current LV PV power plant installations.

• **Keywords:** Grid code requirements, Voltage Dips, Draft of Operation Procedure, PV power plants and Wind farms.

RESUMEN

La presencia de generación renovable en los sistemas eléctricos ha aumentado considerablemente en la última década, sobre todo alentada por el desarrollo de soluciones tecnológicas viables y por propuestas políticas de integración de recursos propios como vía para disminuir la dependencia energética con terceros países. En el caso español, esta incorporación ha venido impulsada principalmente por el recurso eólico y el solar fotovoltaico. Como consecuencia de estas modificaciones sufridas por el mix de generación, se han propuesto una serie de cambios en los procedimientos de conexión a red de instalaciones renovables, principalmente los requerimientos que tienen que ver con conexión y comportamiento ante perturbaciones. En este escenario, el presente artículo analiza tanto la evolución de la integración del recurso eólico y fotovoltaico en el sistema eléctrico peninsular como los requisitos actuales de comportamiento de estos sistemas ante la presencia de huecos de tensión; tanto en lo que se refiere a obligatoriedad de no desconexión como en exigencias de potencias activa y reactiva. Del mismo modo, se incluye una detallada discusión del último borrador publicado por el operador del sistema (REE) en referencia a los cambios propuestos en cuanto a exigencias y necesidades de soportar eventos aún más críticos por parte de instalaciones eólicas y fotovoltaicas.

Adicionalmente, y en base a medidas de campo realizadas a lo largo de varios años en instalaciones fotovoltaicas situadas en el Sureste peninsular, se ha incluido una comparativa entre las perturbaciones recogidas y la normativa actualmente en vigor. Ésta permite estimar el grado de exigencia actualmente solicitado a este tipo de fuentes renovables, al tiempo que supone un estudio preliminar de la severidad de huecos de tensión sufridos en BT por los inversores de estas plantas, los cuales son en última instancia los que deben asegurar la no desconexión de las instalaciones.

Palabras clave: Requerimientos de conexión a red, Huecos de tensión, Instalaciones eólicas y fotovoltaicas.

1. INTEGRACIÓN DE RECURSOS RENOVABLES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Los combustibles fósiles han sido la principal fuente de energía primaria en el mundo, y hoy en día siguen constituyendo un pilar básico en el *mix* energético actual. Así lo corrobora el hecho de que éstos representen en torno al 80%

del suministro total de energía primaria, un valor que se ha mantenido prácticamente invariable en los últimos veinticinco años [1]. Esta importante vinculación de la demanda de energía con fuentes basadas en combustibles fósiles ha llevado aparejada una serie de implicaciones, tanto desde el punto de vista de dependencia energética con terceros países como desde el punto de vista de consecuencias medioambientales y de cambio climático. Así, se ha producido en la *Unión Europea* una disminución del 8% entre 2006 y 2012 de consumo de energía primaria [2]. En el caso particular de España, esta reducción ha estado en torno al 12% con una reducción del déficit energético de casi el 10% respecto al mismo período del año anterior.

En cuanto a la generación de energía eléctrica, los cambios más significativos han venido como consecuencia de la incorporación de nuevas soluciones basadas en fuentes renovables. El interés de aplicación de este tipo de medidas en el sector eléctrico viene dado por el hecho de que en la actualidad, y dentro del conjunto de países desarrollados, el 75% de la energía demandada por los usuarios finales residenciales y comerciales es requerida y proporcionada a través de la electricidad, y el 35% de la energía demandada por los clientes industriales es de naturaleza eléctrica [3]. Es más, si se analiza este sector con cierta perspectiva temporal, puede afirmarse que la electricidad ha jugado una parte creciente en el porcentaje de fuente de energía final durante las últimas décadas, pasando de 9,4% en 1973 al 17,7% en 2010; mientras los derivados del petróleo se han mantenido en un estrecho rango casi constante en torno al 45% [4].

En lo que respecta a la integración de fuentes renovables en el sistema eléctrico, los recursos que han presentado una mayor relevancia han sido las instalaciones eólicas y fotovoltaicas (FV), con más de 115,4 y 80 GW de potencia instalada respectivamente [5]. El resto de fuentes renovables (hidráulica, biomasa, residuos, termo-solar, geotérmica y mareomotriz) también han incrementado su potencia instalada en la última década, pero en menor medida que los anteriores. La Figura 1 resume la producción de electricidad en Europa por tipo de combustible para el período 2000-2013 [6]. La Figura 2 muestra la potencia instalada por tecnologías en España [7], donde las fuentes renovables quedaban acogidas dentro del Régimen Especial, marco normativo vigente hasta finales de 2013. Por su parte, la Figura 3 muestra la evolución de las instalaciones renovables implantadas en España a lo largo de los últimos años [7], donde puede verse claramente la importante aportación e implementación de la energía eólica en comparación con el resto de fuentes. De hecho, en 2013, los parques eólicos españoles suministraron alrededor de 54,301 GWh, lo que situó al recurso eólico como la segunda fuente de generación de electricidad en términos de energía producida. Por su parte, las plantas fotovoltaicas generaron 8,397 GWh en ese mismo año de 2013, siendo la sexta fuente de generación de electricidad [8].

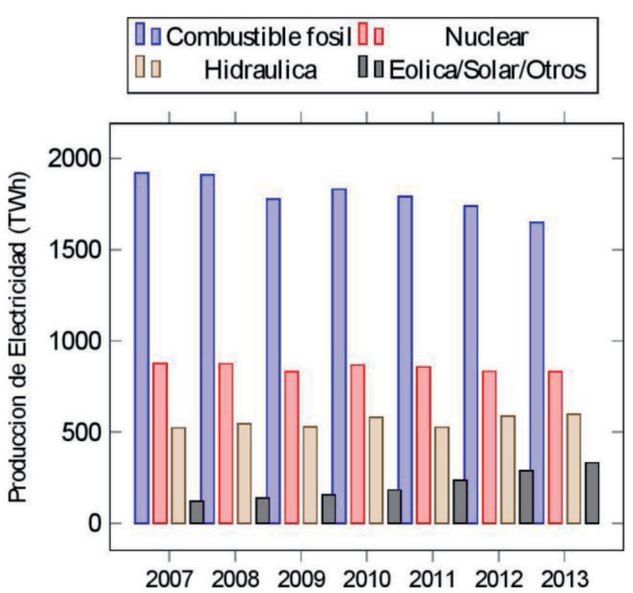


Fig. 1: Producción de electricidad por tipo de combustible en Europa

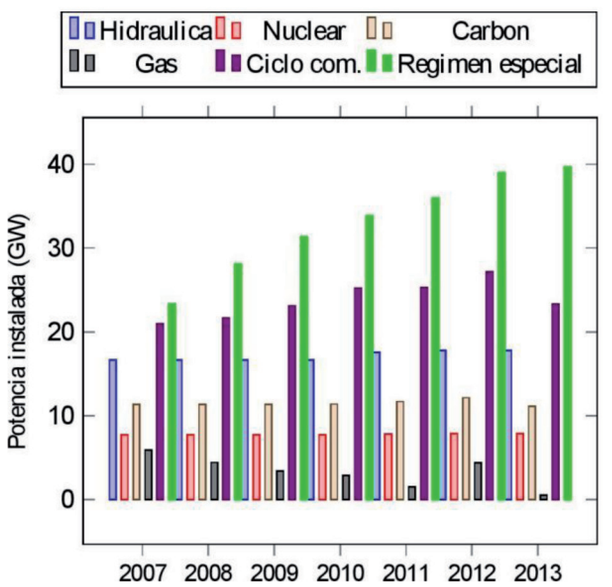


Fig. 2: Potencia instalada por tecnologías en España

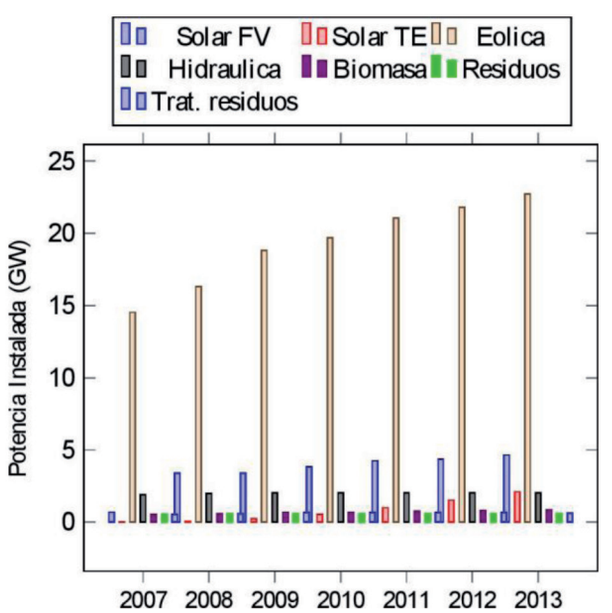


Fig. 3: Potencia instalada en España basada en Fuentes de Energías Renovables (FER)

En paralelo con la integración de fuentes renovables en el sector eléctrico, y atendiendo a la cuota cada vez mayor tanto de capacidad instalada como de cobertura de la demanda, ha surgido la necesidad de evaluar y analizar las implicaciones que este tipo de fuentes lleva consigo sobre el sistema eléctrico en su conjunto [9]. De hecho, y con el fin de asegurar la continuidad de suministro y la seguridad y fiabilidad del sistema, algunos países han establecido requisitos específicos para la conexión y mantenimiento de los parques eólicos y plantas fotovoltaicas [10]. Estos requisitos han implicado una ampliación de las características técnicas requeridas, imponiendo un comportamiento no sólo a nivel de potencia activa a lo largo de la perturbación sino también de requerimientos de reactiva [11]. Así pues, en este marco actual donde la integración de las tecnologías basadas en renovables suponen al mismo tiempo una vía comúnmente aceptada de reducción de dependencia de fuentes externas así como una alternativa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, este artículo describe y discute las propuestas actuales y los requisitos técnicos exigidos para instalaciones de fuentes renovables, comparando estos requerimientos con perturbaciones reales medidas en instalaciones fotovoltaicas a lo largo de varios años.

2. REQUISITOS DE CONEXIÓN Y COMPORTAMIENTO ANTE PERTURBACIONES

2.1. EVOLUCIÓN DE NORMATIVA DE CONEXIÓN PARA RECURSOS RENOVABLES

Con la inclusión de fuentes renovables, el concepto y requisitos de gestión de los sistemas eléctricos está cambiando de acuerdo a las necesidades tanto de las compañías distribuidoras como del propio operador del sistema, buscando incorporar la generación distribuida sin disminuir la gestionabilidad del sistema eléctrico [12]. Durante las últimas décadas, el gobierno español ha promovido marcos legales con requisitos técnicos que regulan la conexión de generación a la red eléctrica. En España, haciendo una retrospectiva histórica, debe en primer lugar mencionarse el concepto de *Generación en Régimen Especial,* como definitorio de este modelo propuesto y diferenciado de los sistemas tradicionales de generación e incluidos bajo el concepto de Régimen Ordinario [13]. Nace así la Ley 54/97 y el Real Decreto (RD) 1955/2000, con el fin de definir este marco legal. Más tarde, en 2004, el gobierno español publicó el RD 436/2004, que se centró principalmente en las fuentes de energía renovable [14]. En él se obligaba a los parques eólicos a cumplir con los requerimientos y equipamiento necesarios para contribuir a la continuidad de suministro frente a perturbaciones debidas a huecos de tensión. En lo que se refiere a requerimientos de protecciones de las distintas tecnologías de generación frente a estas perturbaciones, el operador del sistema español (REE), como gestor de la red nacional, desarrolló el Procedimiento de Operación "*Requisitos de respuesta frente a huecos de tensión de las instalaciones de producción de régimen especial*" (P.O.12.3) [15]. Estos requisitos fueron aprobados y publicados en octubre de 2006, dando un carácter de obligatoriedad para parques eólicos. Posteriormente, en noviembre de 2010, se propuso y publicó el RD 1565/2010 [16], suponiendo una extensión hacia las plantas fotovoltaicas de los requisitos de continuidad en respuesta ante huecos de tensión anteriores. Adicionalmente se modificaban los requisitos de factor de potencia que deben ser cumplidos por todas las instalaciones de Régimen Especial. Esta extensión hacia las instalaciones basadas en solar fotovoltaica vino promovida principalmente por el crecimiento tan relevante que experimentó la energía solar fotovoltaica instalada en España en esos años, en los que el caso español lideró el grupo de países de mayor capacidad instalada. Específicamente, el cumplimiento del código de red en el caso español se detalla en el "*procedimiento de verificación, validación y certificación de los requisitos del PO 12.3 sobre la respuesta de las instalaciones eólicas y fotovoltaicas ante huecos de tensión*" [17].

El marco normativo que engloba el apoyo a las fuentes renovables sufrió un importante cambio en 2013 con la publicación de la Ley 24/2013 de 26 de diciembre [18]. Entre otros aspectos, y dentro de un objetivo global de mantener un nivel de competencia efectiva en el sector eléctrico, se eliminó la diferenciación entre régimen ordinario y régimen especial, conduciéndose a una regulación unificada del sector de la generación eléctrica. Esta Ley viene a sumarse a otras publicadas a lo largo de 2013 de especial relevancia para el sector renovable en particular, como son el Real Decreto-ley 9/2013, de 12 de julio de 2013, por el que se adoptaban medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico; y el Real Decreto-ley 2/2013, de 1 de febrero de 2013 por el que se promovieron medidas urgentes en el sistema eléctrico y en el sector financiero. Con todo ello, la aparición paulatina de estas normas ha influenciado notablemente en la integración de recursos renovables en el sistema eléctrico español. De hecho, cualquier análisis económico que se realizase debería tener en cuenta este cambio de escenario y las consecuencias derivadas del mismo que, a buen seguro, influirían notablemente en las conclusiones finales.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE PERTURBACIONES Y COMPORTAMIENTO DE FUENTES RENOVABLES

El procedimiento español de operación para generación basada en fuentes renovables especifica que toda instalación acogida al Régimen Especial debe soportar huecos de tensión

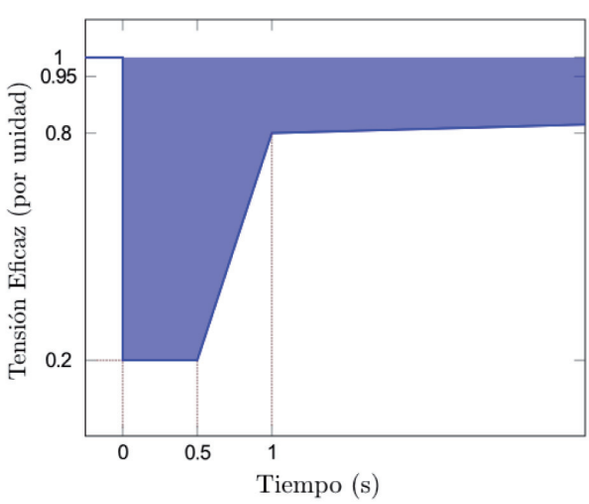


Fig. 4: Curva tensión-tiempo admisible en el punto de conexión

en el punto de interconexión con la red de transporte/distribución, sin desconectarse durante y después de la perturbación. Estos requerimientos se establecen para perturbaciones cuya disminución del valor eficaz de tensión (RMS) de la fase más afectada por el hueco esté dentro de los límites establecidos según recoge la Figura 4. Los valores de tensión, de acuerdo con la normativa, han sido representados en 'por unidad' de su valor nominal eficaz. Estos límites han sido establecidos en virtud a simulaciones de estabilidad del operador del sistema (REE) y a criterios asociados a los dispositivos de protección [19].

Este procedimiento de operación proporciona igualmente características relacionadas con las capacidades de potencia reactiva y activa a aportar por estas instalaciones a lo largo de la perturbación. Así, durante la falta y después de ésta, incluido el período de recuperación del sistema, se debe proporcionar la máxima generación de corriente. En cualquier caso, esta corriente debe estar ubicada dentro de los límites de las curvas representadas en la Figura 5. Tanto parques eólicos como plantas fotovoltaicas deben suministrar intensidad reactiva con niveles de tensión por debajo de 0,85 pu, y no deben demandar potencia reactiva entre 0,85 pu y el nivel de tensión mínimo permitido para el normal funcionamiento de la red. Bajo estas premisas, puede entonces afirmarse que este tipo de instalaciones renovables deben mantener un nivel de generación de potencia activa muy similar a las condiciones de operación anteriores a la aparición de la perturbación eléctrica.

El cumplimiento de estos criterios de permanencia de conexión por parte de las fuentes renovables ha supuesto una adaptación paulatina de dispositivos y elementos a las condiciones solicitadas por parte del operador del sistema. Así, la Figura 6 muestra datos anuales de desconexiones por parte de la generación eólica. Como puede apreciarse, estas desconexiones han ido disminuyendo conforme los dispositivos y la aparamenta se ha adaptado gradualmente a los nuevos requerimientos de conexión ante perturbaciones; llegándose al año 2010 con un cumplimiento prácticamente total de los límites establecidos en el PO 12.3. Por tanto, puede afirmarse que a partir de 2010 la práctica totalidad de la generación eólica estaba en condiciones de soportar perturbaciones sin que desencadenasen la desconexión no permitida de las instalaciones.

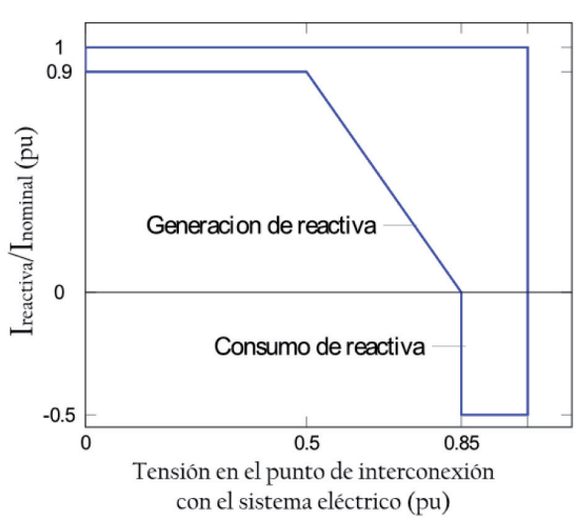


Fig. 5: Intensidad reactiva admisible (generada o consumida) en función de la tensión en bornes

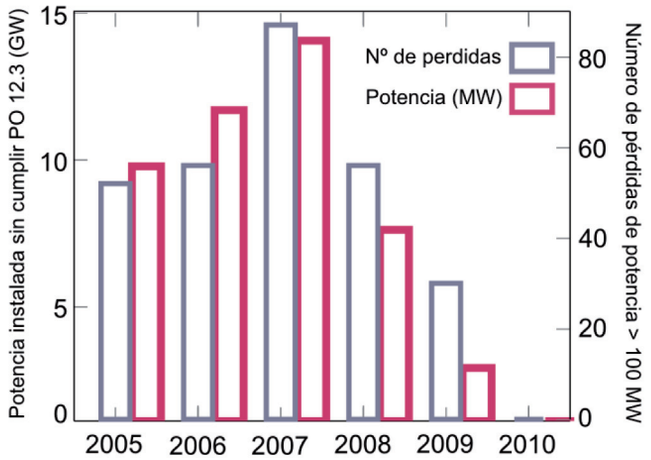


Fig. 6: Pérdida de generación eólica por presencia de perturbaciones y Capacidad fuera del PO 12.3

A nivel europeo se han promovido diferentes iniciativas y requerimientos para fuentes renovables ante la presencia de perturbaciones. Esta proliferación de diferentes criterios se está intentado homogeneizar desde el grupo de operadores de sistemas eléctricos europeos (ENTSO-E), con el fin de establecer pautas de comportamiento comunes en los diferentes países. De hecho, en 2009 ya se apuntaba esta diversidad de requerimientos como un importante hándicap para la integración de recursos renovables, [20], enumerándose una serie de proyectos e iniciativas europeas encaminadas a promover normativas comunes. Igualmente, se recuerda que estos requerimientos han de estar acorde con los estándares europeos que incluyen limitaciones generales para la conexión de suministro a redes eléctricas. En concreto, para la conexión a redes de baja tensión ha de tenerse en cuenta la norma europea EN 50438. En lo que se refiere a especificaciones de calidad de suministro, mientras que para los consumidores finales se establece la norma EN 50160, no existe sin embargo una normativa de calado internacional que hayan de cumplir los generadores renovables. En España, tal y como se ha comentado anteriormente, estos requerimientos están regulados por el RD 1995/2000, la Orden ECO/797/2002 y el RD 1634/2006; y específicamente para fotovoltaica por el RD 1663/2000. No obstante, han proliferado a lo largo de estos años las recomendaciones en cuanto al uso de normas americanas para estándares de calidad de suministro a nivel europeo, siendo recomendables para conexión a red de generación fotovoltaica las siguientes: IEEE 1547, IEEE 929, IEEE 519.

3. NUEVAS PROPUESTAS Y REQUISITOS TÉCNICOS PARA INSTALACIONES RENOVABLES

Debido a la creciente presencia de parques eólicos e instalaciones fotovoltaicas en el sistema eléctrico español y, por tanto, a la cuota de demanda actualmente cubierta por recursos renovables, el operador del sistema (REE) ha planteado modificaciones de los requisitos técnicos vigentes. Este planteamiento de nuevas propuestas se inicia en 2008, publicando un borrador del P.O.12.2 con requerimientos exigibles a instala-

ciones eólicas, fotovoltaicas y todas aquellas instalaciones de producción cuya tecnología no emplee un generador síncrono conectado directamente a la red bajo el título "*Instalaciones conectadas a la Red de Transporte y equipo generador: requisitos mínimos de diseño, equipamiento, funcionamiento, puesta en servicio y seguridad*" [21]. La principal diferencia de estas propuestas en comparación con las características actualmente vigentes se centra en el perfil de la curva tensión-tiempo. Así, se propone una curva característica alternativa que limita la magnitud y duración de los huecos de tensión en función del tipo de cortocircuito que produciría el hueco, englobando perturbaciones procedentes de cortocircuitos trifásicos, bifásicos a tierra o monofásicos de dos fases a tierra, tal y como se muestra en la Figura 7. En el caso particular de cortocircuitos bifásicos aislados de tierra, la propuesta ofrece una curva tensión-tiempo para caracterizar la magnitud y duración de este tipo de huecos de tensión que las instalaciones de generación renovable deben soportar sin desconectarse de la red, como se puede ver en la Figura 8.

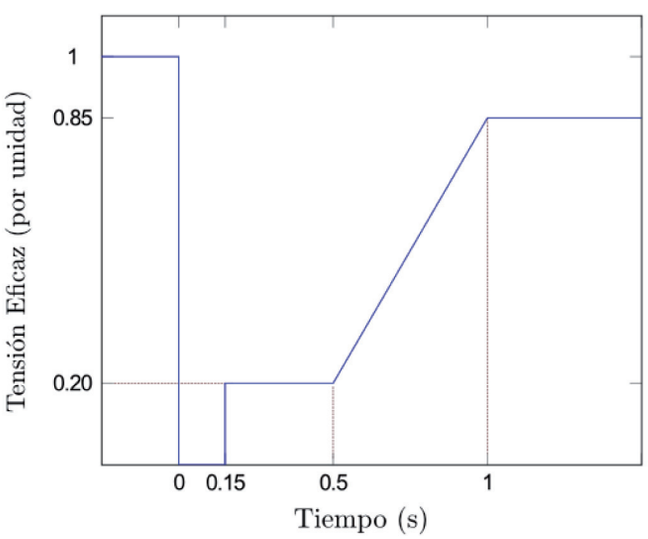


Fig. 7: Curva propuesta de tensión-tiempo que define el área de la "perturbación de tensión" en el punto de conexión a red. Exceptuando el caso de cortocircuitos bifásicos aislados de tierra

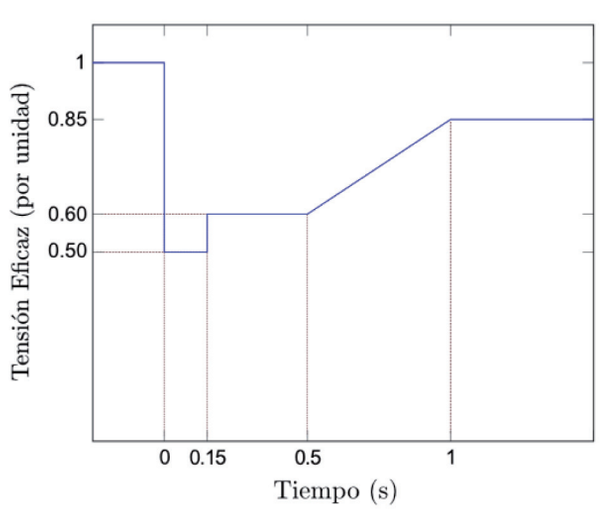


Fig. 8: Curva propuesta de tensión-tiempo que define el área de la "perturbación de tensión" en el punto de conexión a red. Caso de cortocircuitos bifásicos aislados de tierra

Una característica común a requisitos actuales y propuestas en estudio es que no haya demanda de potencia activa y reactiva en el punto de conexión a la red durante la falta y a lo largo del periodo de recuperación de la misma. No obstante, y de acuerdo con el último borrador, se permitiría una demanda momentánea de potencia activa y reactiva durante los primeros instantes de aparición de la perturbación (40 ms para faltas equilibradas y de 80 ms para el caso de faltas desequilibradas) así como durante los 80 ms inmediatamente posteriores al despeje de la misma. En cualquier caso, y durante todo el régimen transitorio en que está presente la perturbación incluyendo el intervalo de recuperación de la misma, la instalación debe ser capaz de inyectar a la red una corriente aparente de, al menos, el valor de la intensidad nominal de la instalación. Finalmente, la Figura 9 compara los perfiles característicos de tensión-tiempo del último borrador P.O.12.2 publicado frente a los requisitos de Régimen Especial actualmente vigentes en España.

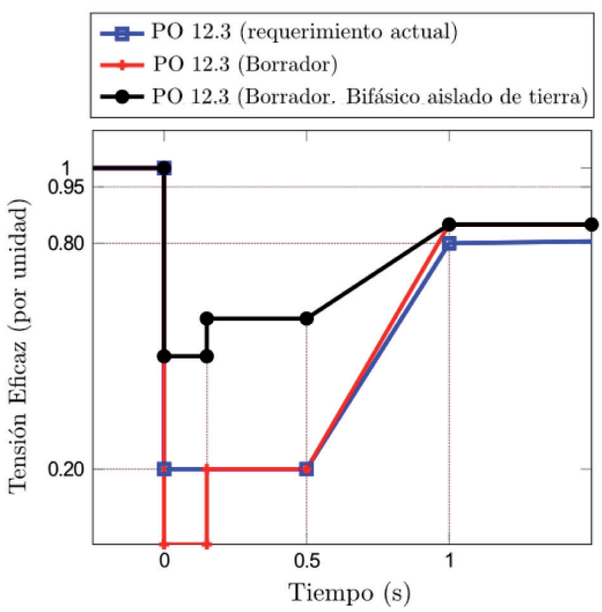


Fig. 9: Comparativa de requerimientos tensión-tiempo. Normativa actual y propuesta en estudio

4. MEDIDAS DE CAMPO Y COMPARATIVA CON REQUERIMIENTOS DE CONEXIÓN

Con la finalidad de ofrecer un estudio preliminar de la severidad de la actual normativa de conexión a red para instalaciones renovables, se han realizado diferentes campañas de medida de perturbaciones en huertos solares fotovoltaicos ubicados en el Sureste peninsular a lo largo de varios años (2008 a 2013). Estas campañas de medidas se han realizado empleando para ellos equipamiento específico para la detección y almacenamiento de transitorios, en concreto se han utilizado equipos Fluke 1760TR que alcanzan una frecuencia de muestreo de hasta 10,24 kHz. Estos equipos se han conectado a la salida trifásica de los inversores, con el fin de almacenar tanto tensiones como intensidades. Se han configurado así seis canales de almacenamiento de datos, programando el *trigger* de los equipos de forma que captura los valores instantáneos de tensión ante la detección de una disminución del valor eficaz por debajo de 0,9 por unidad. Con el fin de poder disponer

de la evolución de la tensión con anterioridad a la aparición de la perturbación, se ha incluido una ventana flotante de almacenamiento de datos la cual queda registrada tras la detección del hueco de tensión y los valores son almacenados junto a la perturbación.

En lo que respecta a las instalaciones fotovoltaicas donde se han realizado las medidas, una de ellas se encuentra en Castilla La Macha, con una potencia total nominal de 5 MW. Está compuesta a su vez de dos instalaciones: una planta de módulos fijos de Si-policristalino con una potencia nominal de 4 MW y operada desde 2010, y una segunda instalación de 1 MW con seguimiento a dos ejes y que comenzó a operar en 2008. Esta segunda instalación posee módulos de Si-monocristalino; un tipo de tecnología que se ha utilizado usualmente en configuraciones con seguidores solares. La otra planta sobre la que se han realizado medidas se encuentra ubicada en la Región de Murcia y también posee una capacidad de 5 MW. En este caso la instalación está toda formada por módulos fijos, la mayoría de ellos de CdTe de capa fina.

La Figura 10 muestra un ejemplo real de ubicación del equipamiento durante la toma de datos y perturbaciones en una instalación solar fotovoltaica ubicada en la zona de Albacete. A modo de presentación de algunos de los huecos almacenados, la Figura 11 compara distintos eventos con el perfil actual de normativa de conexión exigida en el punto de entrega de energía. Se han seleccionado diferentes profundidades de hueco, representativas de los perfiles de tensión sufridos durante las perturbaciones y el despeje de las mismas. No obstante, la división porcentual de las perturbaciones medidas no posee una distribución uniforme a lo largo de las diferentes profundidades de hueco, sino que se ha detectado una gran cantidad de huecos de tensión con profundidad moderada respecto a los límites exigidos por la normativa, de forma que ésta supone una cota máxima de severidad de hueco considerablemente exigente. Para ilustrar esta afirmación, la Figura 12 muestra la distribución porcentual de huecos almacenados en los diferentes períodos de toma de datos, realizando esta clasificación atendiendo a la profundidad alcanzada por el

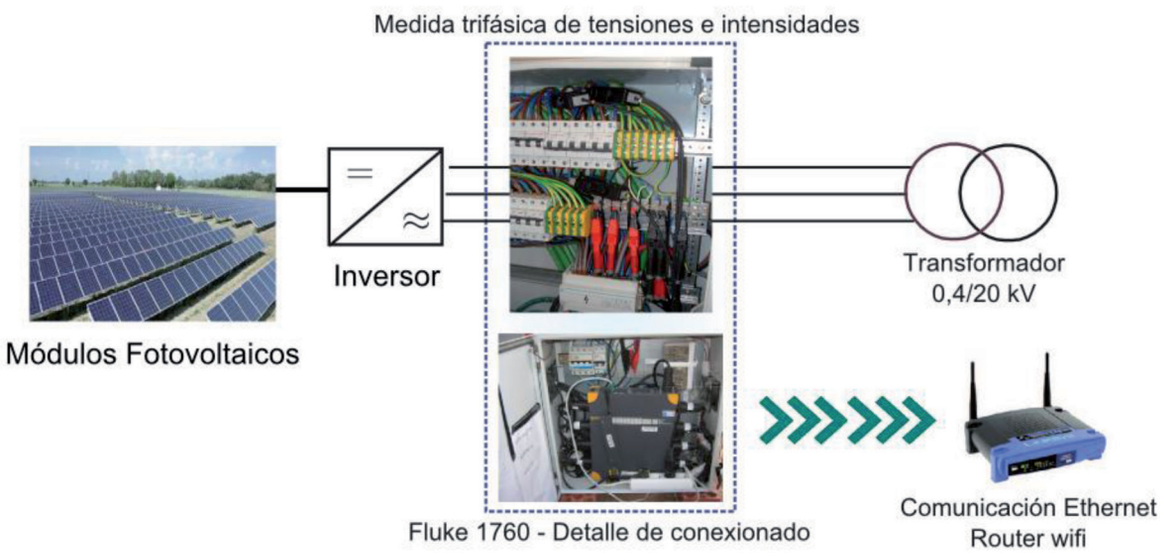


Fig. 10: Campaña de medidas en instalaciones fotovoltaicas. Detalle de conexión (Fluke 1760TR) y esquema general

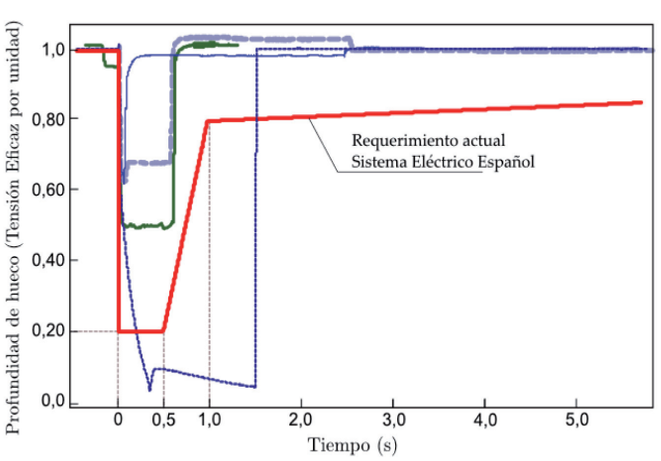


Fig. 11: Comparativa de perturbaciones reales frente a normativa de conexión para instalaciones renovables

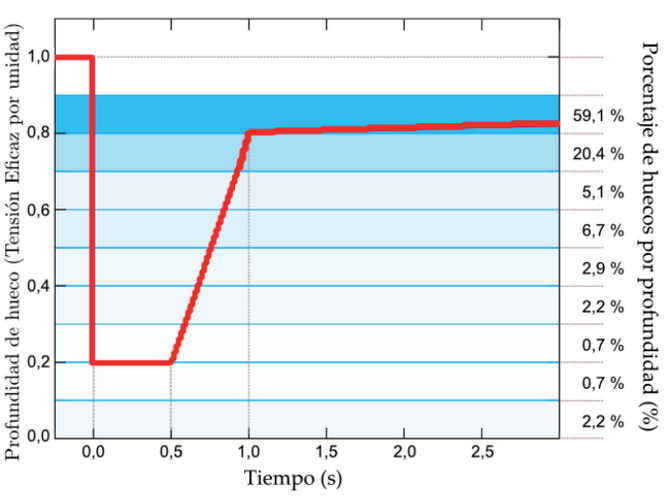


Fig. 12: Distribución de perturbaciones reales en función de profundidad de hueco. Comparación con normativa actual

hueco. Como puede comprobarse, más del 75% de los huecos medidos en instalaciones fotovoltaicas presentan un valor de tensión residual por encima del 70% y, por tanto, una profundidad de hueco menor del 30%, mientras que la profundidad exigida por la normativa actual que ha de ser soportada por esta generación es del 80%. En cualquier caso, es necesario que los equipos implicados en las instalaciones fotovoltaicas sean capaces de soportar las perturbaciones marcadas por la normativa, asegurando con ello la continuidad de suministro en las condiciones que marca la misma.

5. CONCLUSIONES

Este artículo tiene como objetivo la descripción tanto de requisitos actuales como de propuestas en estudio para conexión de fuentes de energías renovables al sistema eléctrico español. Estas especificaciones tienen por objeto garantizar la continuidad del suministro en presencia de perturbaciones, principalmente huecos de tensión. La presentación y discusión de normativa se ha centrado en el procedimiento de operación exigido a instalaciones eólicas y fotovoltaicas, ya que son las tecnologías renovables con mayor integración en la red eléctrica peninsular, cubriendo en la actualidad alrededor de un 20% de la demanda eléctrica y con una capacidad de generación de algo más de 25 GW. De forma complementaria también se ha incluido una comparativa entre los requisitos técnicos actuales y los borradores propuestos por el operador del sistema. A partir de esta comparativa, puede concluirse que el último borrador propuesto impone requisitos más estrictos para instalaciones eólicas y fotovoltaicas, las cuales deben soportar huecos de tensión más profundos y de mayor duración sin producirse la desconexión de la red. Igualmente, se han incluido los requisitos de potencia reactiva y activa durante y después de la perturbación.

Con el fin de realizar una comparativa entre los requisitos actuales y los eventos producidos en instalaciones reales fotovoltaicas, también se ha incluido un estudio de perturbaciones realizado a lo largo de varios años en plantas fotovoltaicas ubicadas en el Sureste peninsular. A la vista de los resultados, con más de 130 eventos capturados a lo largo de varios años, los huecos de tensión sufridos por estas instalaciones en BT han presentado en la mayoría de ocasiones (más de un 70%), una profundidad de hueco considerablemente menor que la normativa actual exige, por lo que claramente dicha cota mínima se encuentra del lado de la seguridad, con el fin de garantizar la continuidad del suministro ante la presencia de estas perturbaciones. Del mismo modo, la duración de los mismos ha sido en general menor de lo exigido por los límites de la normativa, presentando períodos de recuperación de la perturbación menores y menos pronunciados de los máximos permitidos en la actualidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (*ENE2012-34603*) y por la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha (*PEII10-0171-1803*), ambos cofinanciados con fondos FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

[1] "World Energy Outlook 2013" International Energy Agency, Noviembre 2012.

[2] M. Sturc, "Energy consumption down by 8% between 2006 and 2012 in the EU28" Eurostat Press Office, Febrero 2014

[3] C. E. Behrens, "Energy Policy , 113th Congress Issues", 2013.

[4] "Key World Energy," International Energy Agency, 2012.

[5] "Wind in power," Eur. Wind Energy Assoc., no. February, pp. 1–12, 2014.

[6] "Monthly Electricity Statistics," International Energy Agency, no. January, 2014.

[7] "Información Básica de los Sectores de la Energía —2013—," Comisión Nacional de la Energía, 2013.

[8] "El Sistema Eléctrico Español," Red Eléctrica de España, (REE), 2013.

[9] R. Passey, T. Spooner, I. MacGill, M. Watt, K. Syngellakis, "The potential impacts of grid-connected distributed generation and how to address them: A review of technical and non-technical factors," *Energy Policy*, vol. 39, no. 10, pp. 6280–6290, Oct. 2011.

[10] N. Sangroniz, J. A. Mora, M. D. Teixeira, "Review of International Grid Codes for Wind Genera-tion," vol. 900, pp. 1–5, 2009.

[11] E. Gómez, J. A. Fuentes, A. Molina-García, F. Ruz, F. Jiménez, "Field tests of wind turbines submitted to real voltage dips under the new Spanish grid code requirements," *Wind Energy*, vol. 10, no. 5, pp. 483–495, Sep. 2007.

[12] P. González-Castrillo, E. Romero-Cadaval, E. González-Romera, M. Á. Guerrero-Martínez, "Análisis de la calidad de suministro en una red de distribución con generación distribuida fotovoltaica," *DYNA*, vol. 87, pp. 400–410, 2012.

[13] A. Kortajarena, D. Muñoz, L. Pedrosa, "La generación distribuida: un paradigma emergente para el sector eléctrico," *DYNA*, vol. 77, pp. 29–32, 2002.

[14] "Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la acutalizacion y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial", *BOE*, vol. 75, pp. 13217–13238, 2004.

[15] "P.O. 12.3. Requisitos de respuesta frente a huecos de tensión de las instalaciones eólicas," *BOE*, No. 254, pp. 37017–37019, 2006.

[16] "Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.," *BOE*, No. 283, pp. 97428–97446, 2010.

[17] F. Jiménez, E. Gómez-Lázaro, J. A. Fuentes, A. Molina-García, A. Vigueras-Rodríguez, "Validation of a DFIG wind turbine model submitted to two-phase voltage dips following the Spanish Grid Code", *Renewable Energy*, vol. 57, pp. 27-34, Septiembre 2013, doi http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.032.

[18] Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, *BOE*, No. 310, pp. 105198-105294, 2013.

[19] F. Jiménez, E. Gómez-Lázaro, J. A. Fuentes, A. Molina-García, A. Vigueras-Rodríguez, "Validation of a DFIG wind turbine model and wind farm verification following the Spanish Grid-Code", *Wind Energy*, vol. 15(4), pp. 645-659, Mayo 2012. doi: http://dx.doi.org/10.1002/we.498

[20] "Recommendations for unified technical regulations for grid-connected PV systems", Proyecto SUNRISE financiado por el VI Programa Marco de la Unión Europea, 2009

[21] "Requisitos técnicos de las instalaciones eólicas, fotovoltaicas y todas aquellas instalaciones de producción cuya tecnología no emplee un generador " Instalaciones conectadas a la Red de Transporte y equipo generador : requisitos minimos de diseño," *Red Eléctrica de España (REE)*, pp. 1–15, 2008.