

CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED DE BAJA TENSIÓN

M. Cáceres^{1*}, C. Prieb^{2§}, A. Busso^{3*}, L. Vera^{4*}, C. Cadena^{5#}

* GER – Grupo en Energías Renovables – FaCENA – UNNE.

Av. Libertad 5470 – 3400 Corrientes. Argentina.

Tel/Fax: (03783) 473931 e-mail: mcaceres@ger-unne.com.ar

§ LABSOL – Laboratorio de Energía Solar – UFRGS

INENCO – CONICET - UNSa

RESUMEN: El Grupo en Energías Renovables (GER) desarrolló un sistema de medición que permite caracterizar inversores para conexión a red de hasta 4,4 kW de potencia nominal siguiendo las pautas establecidas en la normativa internacional referente al tema. En este estudio se presenta el desarrollo del instrumento y la determinación de los desvíos cometidos al evaluar la eficiencia de conversión de inversores mediante el contraste con instrumentos patrones que forman parte de un banco de ensayos de inversores perteneciente al Laboratorio de Energía Solar de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSOL-UFRGS). El sistema de medición permite evaluar la eficiencia de conversión de inversores en un rango de potencias comprendido entre el 10 % y el 100 % de la potencia nominal con un error menor al 1 %. El error cometido para potencias nominales menores al 10 % es inferior al 3 %.

Palabras clave: Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red, Inversor, Instrumentación.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas fotovoltaicos conectados a red (SFCR) se presentan en la actualidad como una alternativa para promover la implementación de generación distribuida (GD) (Cánova et al., 2007). Por su carácter modular pueden ser incluidos como generadores de energía eléctrica en las redes de baja tensión (BT) y permiten disminuir la demanda en los puntos donde la energía requerida supera, durante ciertos períodos, a la capacidad de suministro. En el nordeste argentino, el periodo de tiempo durante el cual se produce uno de los máximos que presenta el perfil de demanda típico coincide con el período de máxima irradiancia solar y, por tanto, con el período de máxima generación de SFCR (MinPlan, 2010). De esta forma, la utilización de sistemas de este tipo permite disminuir estos picos de demanda y aporta a solucionar el problema de sobrecarga al que están sometidos tanto los transformadores como las líneas de distribución durante los períodos de máxima demanda, evitando la realización de grandes obras eléctricas y su correspondiente costo económico. El aporte energético que brindan los SFCR permite mejorar la calidad del servicio de suministro de energía eléctrica en BT mediante la inclusión de un método de generación renovable y sustentable.

Un SFCR está dividido en dos etapas, la primera corresponde al generador fotovoltaico (FV) o arreglo de módulos y la segunda al inversor para conexión a red. El generador FV es el encargado de convertir la energía que proviene del sol en forma de radiación electromagnética en energía eléctrica y el inversor acondiciona esta energía y la inyecta a la red de distribución. Para conocer las condiciones de operación de un SFCR, el aporte energético que proporciona como generador en la red y las características de la energía que inyecta es necesario caracterizar cada uno de sus componentes así como la interacción que existe con la red a la que se conecta. Por esta razón se han desarrollado diferentes normativas a los efectos de estandarizar la información requerida, su forma de presentación y la metodología apropiada para su obtención. Un ejemplo de esto es la norma IRAM 210013-2 “*Módulos Fotovoltaicos. Características Eléctricas en Condiciones Normalizadas*” que establece las características que deben ser adquiridas para representar un determinado módulo o arreglo fotovoltaico y las condiciones en que deben ser realizados los ensayos para obtener dichas características.

En la Argentina, si bien se ha dado impulso a la implementación de sistemas de generación de energía que utilizan recursos renovables (Ley Nacional N° 26.190, 2006), la capacidad instalada de generación fotovoltaica con conexión a red es incipiente y por tanto aún no se ha desarrollado la reglamentación adecuada para la caracterización de inversores para conexión a red ni para determinar la interacción de estos con la red de BT. Es por esta razón que, a los efectos de estandarizar la información, se recurre a normas desarrolladas en otros países donde la utilización de SFCR es mayor.

En particular, para caracterizar inversores de uso en SFCR, es necesario determinar la eficiencia con la que este sistema convierte la energía proporcionada por el generador fotovoltaico a las condiciones requeridas por la red de distribución de energía eléctrica. Esta eficiencia se obtiene a través de dos factores denominados eficiencia de conversión y eficiencia de seguimiento del punto de máxima potencia (Haeberlin et al., 2005). La norma europea EN 50530:2010 “*Overall Efficiency of Photovoltaic Inverters*” establece la metodología requerida para determinar estas eficiencias en inversores para conexión a red.

¹ Manuel Cáceres, Becario ANPCyT – UNNE.

² Cesar Wilhelm Massen Prieb, Investigador LABSOL-UFRGS.

³ Arturo Juan Busso, Investigador GER – UNNE.

⁴ Luis Horacio Vera, Investigador GER – UNNE.

⁵ Carlos Cadena, Investigador INENCO.

La norma británica BS 50438:2007 “*Requirements for the Connection of Micro-Generators in Parallel with Public Low-Voltage Distribution Networks*” por su parte dispone las condiciones requeridas para la conexión a la red de distribución en BT de SFCR e incluye especificaciones acerca de la calidad que debe poseer la energía generada determinada a partir de parámetros característicos de la red como: distorsión armónica en la corriente inyectada, fluctuaciones en los niveles de tensión, factor de potencia, frecuencia, flicker, etc. Por otra parte, esta norma propone una metodología para evaluar las protecciones que deben actuar ante situaciones de falla de la red (variaciones de la tensión y frecuencia fuera de los rangos establecidos) y especifica los límites máximos respecto de la velocidad de actuación de las mismas frente a cada evento. Otra norma que versa sobre la misma cuestión es la norma internacional IEC 61727 “*Photovoltaic (PV) Systems – Characteristics of the Utility Interface*”.

Para determinar los parámetros que establece la normativa citada y que permite caracterizar SFCR, es necesario medir y almacenar parámetros eléctricos de funcionamiento del sistema, en particular se requiere conocer y evaluar las características que presentan las señales de tensión y corriente tanto a la entrada como a la salida del inversor en todo el rango de operación del mismo y para diferentes configuraciones del generador fotovoltaico empleado. Para ello resulta conveniente medir estas señales con suficiente velocidad de adquisición (frecuencia de muestreo elevada) para, mediante procesamiento digital de señales, obtener el comportamiento temporal de cada uno de estos parámetros.

Por lo expuesto y con el objetivo de caracterizar inversores para conexión a red, el Grupo en Energías Renovables (GER) de la FaCENA-UNNE desarrolló un sistema que permite medir, almacenar y procesar las señales citadas. Este desarrollo forma parte de un proyecto que estudia la implementación de GD empleando SFCR y cumple con las condiciones dispuestas por las normas a las que se hizo referencia previamente. En este trabajo se presenta el sistema de medición desarrollado y el contraste con instrumentos patrones pertenecientes al Laboratorio de Energía Solar de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSOL-UFRGS). Las tareas de calibración y contraste del equipo fueron realizadas en el marco de un proyecto de cooperación bilateral entre Argentina y Brasil.

SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA

Para caracterizar completamente un inversor para uso en SFCR, y su interacción con la red de BT, se deben medir y almacenar los valores de tensión y corriente tanto a la entrada como a la salida del mismo para diferentes condiciones de operación. Si se adquieren convenientemente los valores que adoptan estas señales pueden calcularse las potencias de entrada y salida, el factor de potencia de la energía inyectada a la red, el contenido armónico que presentan las señales de salida del inversor, la distorsión armónica total, las eficiencias de conversión y de seguimiento de punto de máxima potencia, entre otros parámetros. El intervalo de tiempo transcurrido entre la adquisición de una muestra y otra, de cada una de las variables implicadas, debe ser suficientemente corto de manera de obtener (respetando el teorema de muestreo) una completa caracterización de las señales medidas. Como las señales de tensión y corriente a la entrada del inversor, es decir las provistas por el generador fotovoltaico, son continuas y presentan variaciones relativamente lentas (mayores a 1 ms), se puede prescindir de una alta tasa de muestreo para su correcta adquisición. Sin embargo las señales de salida del inversor, en corriente alterna, deben ser adquiridas con una frecuencia de muestreo elevada (entre 1,6 y 6,4 kS/s según establece la norma IEEE P1159.1, 2000) a los efectos de discriminar el contenido armónico de las mismas empleando técnicas de procesamiento digital de señales, es decir, aplicando filtros digitales, transformada rápida de Fourier (FFT), etc. Por otra parte, para evaluar la velocidad de actuación de las protecciones del inversor resulta necesario adquirir los transitorios producidos en las señales de salida durante cada interrupción en la generación provocada por el inversor. De esta forma, es necesario un sistema de medición con una frecuencia de muestreo elevada para realizar esta evaluación.

Siguiendo estas premisas se utilizó, como elemento principal de medición, una placa de adquisición de datos (USB6009 de National Instruments) que es controlada por un software desarrollado en Matlab (Matlab R2010a, 2010). La misma posee cuatro canales de conversión analógica digital (A/D) diferenciales que permiten adquirir señales con una resolución de 14 bits, una frecuencia de muestreo máxima de 48 kS/s y un error relativo máximo porcentual en la medición de tensión de 1,2 %. Si bien la placa utilizada posee amplificadores de ganancia programable (PGA) y permite convertir señales de tensión con amplitudes que parten de ± 25 mV hasta ± 20 V se obtiene mayor exactitud en las mediciones si se utilizan los canales de medición con fondos de escala superiores a ± 4 V (NI USB6009, 2008). Es por esta razón que se desarrollaron circuitos de acondicionamiento externo para cada una de las señales a ser medidas a los efectos de aumentar o disminuir sus amplitudes (según corresponda) para adaptarlas al rango propuesto.

La figura 1 presenta un diagrama esquemático de bloques del sistema de medición desarrollado y los puntos de medición en el SFCR o banco de ensayos para inversores.

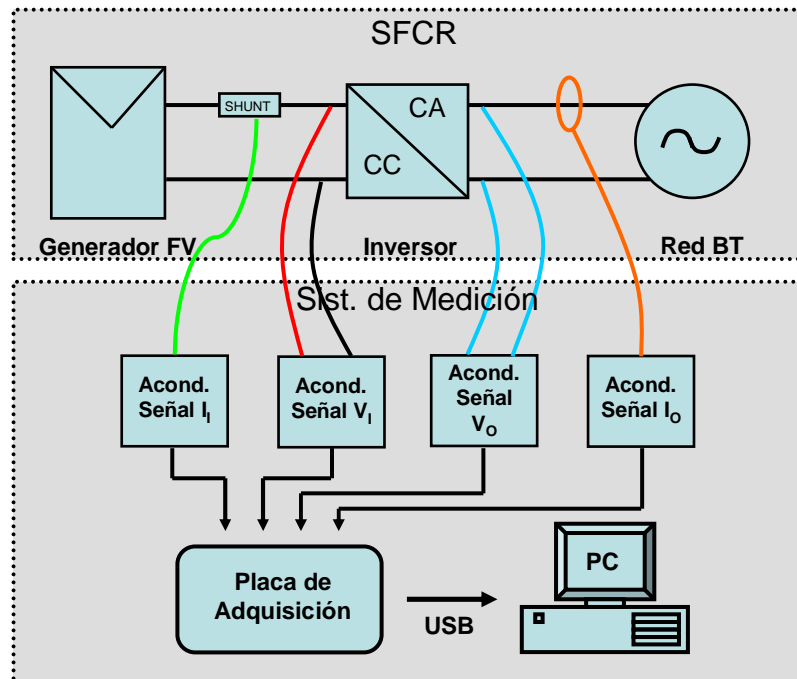


Figura 1. Diagrama esquemático de bloques del sistema de caracterización de inversores para SFCR.

Debido a que la señal de tensión de entrada al inversor en continua (V_i), proveniente del generador fotovoltaico, normalmente es elevada (mayor a 100 V) se utilizó un divisor resistivo desarrollado a partir de resistencias con tolerancias del 1 % a fin de acondicionar esta señal a los niveles de entrada de la placa. Para medir la señal de corriente de entrada en continua (I_i) se utilizó, como elemento transductor, una resistencia *shunt* clase 0,5 con una constante igual a 25 A/60 mV. A los efectos de elevar los niveles de tensión que se desarrollan sobre el elemento de sensado se utilizó un circuito amplificador con ganancia igual a 100. Este circuito fue desarrollado a partir de dos etapas de amplificación, de ganancia igual a 10, implementadas con amplificadores operacionales en configuración de amplificador diferencial conectadas en cascada. En ambas etapas se utilizaron amplificadores para uso en instrumentación y las redes resistivas empleadas para configurar cada etapa fueron diseñadas empleando resistores con tolerancias del 1 %. De esta forma, el sistema de caracterización desarrollado permite medir, a la entrada del inversor, tensiones máximas de 400 V y corrientes máximas de 25 A.

Para evitar que se produzcan corrientes parásitas entre la entrada y la salida del inversor se optó por implementar aislación galvánica entre las señales medidas a cada lado del mismo, por tanto, para medir las señales de tensión de alterna a la salida (V_o) se utilizó un transformador de tensión (*TV*) clase 1 con relación de transformación 20:1 que posee un error de fase máximo igual al 1 %. Para medir la corriente de salida en alterna (I_o) se utilizó un transformador de intensidad (*TI*) asociado a una resistencia de carga. Esta sonda permite medir una corriente eficaz máxima igual a 20 A con un error para amplitud y fase igual a 1 %. Las características de este transductor limitan la potencia máxima que puede medir el instrumento a valores que rondan los 4,4 kW en inversores diseñados para funcionar en redes que poseen una tensión eficaz de 220 V y a 2,2 kW en los diseñados para funcionar con tensiones eficaces iguales a 110 V. Tanto el *TV* como el *TI* utilizados fueron caracterizados experimentalmente a los efectos de obtener la respuesta en frecuencia que presentan (IEEE P1159.1, 2000). Los valores obtenidos experimentalmente fueron empleados para ajustar curvas de corrección que permiten determinar los errores en amplitud y fase de las componentes armónicas adquiridas como función de la frecuencia. Estos ajustes fueron introducidos en los algoritmos que utiliza el software de control del sistema con el objeto de realizar las correcciones correspondientes.

La figura 2a es una fotografía del instrumento desarrollado. La placa de adquisición está montada sobre un gabinete que aloja los circuitos de acondicionamiento de señal descriptos. La resistencia *shunt* utilizada para medir la corriente de entrada al inversor se encuentra adherida a la parte posterior del gabinete (figura 2b).

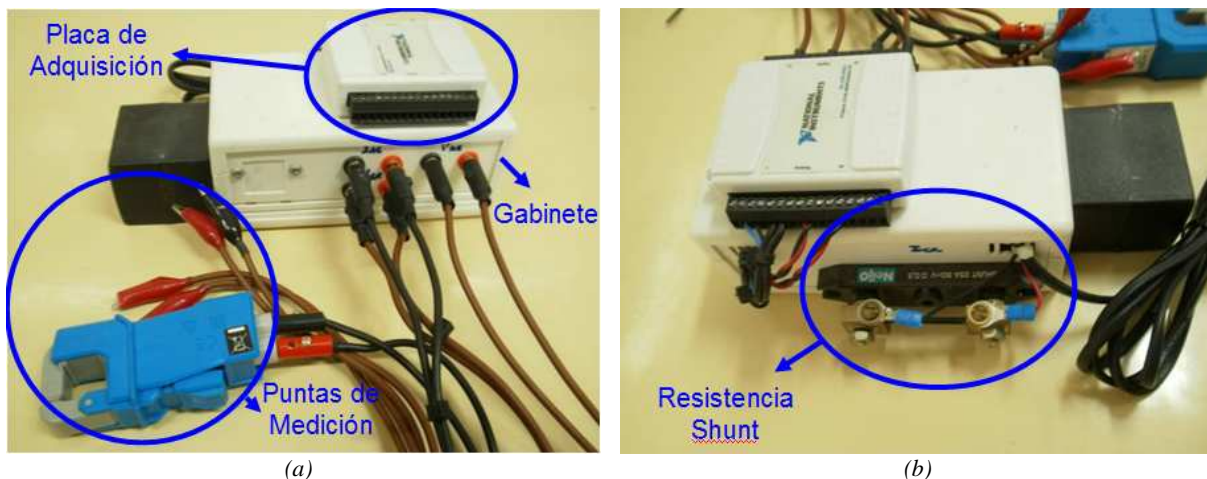


Figura 2. (a) Gabinete utilizado para alojar las etapas de acondicionamiento de señal, placa de adquisición y puntas de medición de tensión de entrada, tensión de salida y corriente de salida del inversor. (b) Resistencia shunt utilizada para medir la corriente de entrada al inversor.

El software de adquisición fue desarrollado en el entorno de programación de Matlab R2010a, el cual permite modificar los parámetros de configuración requeridos para el control de la placa de adquisición (frecuencia de muestreo, tiempo de adquisición, cantidad de muestras, etc.). Este último también procesa los datos adquiridos aplicando los factores de corrección correspondientes para cada canal, los filtros digitales requeridos para determinar la componente media, fundamental, y las armónicas superiores según corresponda dependiendo del parámetro medido y aplica las ecuaciones correspondiente para determinar los parámetros que surgen de cálculo, tales como potencia absorbida del generador FV por el inversor, potencia activa y reactiva entregada a la red, factor de potencia, energías a la entrada y salida del inversor, contenido armónico de las señales de salida, distorsión armónica total, eficiencia, etc.

CONTRASTE DEL INSTRUMENTO DESARROLLADO

La norma EN 50530:2010 establece que la eficiencia de conversión de un determinado inversor debe ser evaluada para ocho condiciones de carga diferentes (5, 10, 20, 25, 30, 50, 75, y 100 % de la potencia nominal del inversor) y que este ensayo debe realizarse para diferentes tensiones de polarización del arreglo (tensión de punto de máxima potencia). Por otra parte, según lo dispuesto en la norma EN 61683:2002, "Photovoltaic Systems – Power Conditioners – Procedure for measuring Efficiency", la incertidumbre en la determinación de la eficiencia de conversión de un inversor debe permanecer por debajo del 1 % a fondo de escala (0,5 % en la determinación de cada una de las potencias de la ecuación 1). Por esta razón, se realizó un contraste del sistema de caracterización desarrollado con equipos de laboratorio patrones a los efectos de delimitar los errores del instrumento.

El LABSOL-UFRGS ha desarrollado un banco de ensayos para inversores de uso en SFCR constituido por un simulador de arreglos fotovoltaicos de 16 kW de potencia máxima y un analizador de energía comercial que permite ensayar inversores según lo establecido en las normas citadas. La figura 3 presenta un diagrama esquemático de la forma en que opera este banco de ensayos.



Figura 3. Diseño esquemático de la forma de operación del banco de ensayo de inversores para uso en SFCR. Fuente: Prieb (2011).

El simulador de arreglos fotovoltaicos consiste básicamente en una fuente controlada mediante un software en PC que simula las características de salida de un determinado arreglo. Estas características (potencia en el punto de máxima potencia del arreglo, tensión de circuito abierto, corriente de cortocircuito, etc.) pueden ser modificadas convenientemente a los efectos de proporcionar versatilidad en los ensayos, es decir, la fuente permite ensayar inversores para conexión a red para diferentes condiciones del arreglo fotovoltaico sin ninguna dependencia respecto de las condiciones climáticas imperantes. Por otra parte, el simulador posee un sistema de medición y adquisición de las variables de entrada al inversor y permite compararlos con los valores teóricos que han sido seteados previamente. Esta fuente cumple con las condiciones dispuestas por la norma EN 50530:2010 para determinación de la eficiencia de conversión y de la eficiencia de seguimiento del punto de máxima potencia. El simulador FV ha sido caracterizado minuciosamente por el personal del LABSOL a los efectos de verificar que cumpla con los estándares propuestos en la normativa. Prieb (2011) reporta una exactitud de 0,1 % FDE (a fondo de escala) en modo corriente o tensión, y una estabilidad de 0,05 % FDE luego de 8 horas de funcionamiento. La resolución de programación y de lectura de tensión y corriente es de 0,025 % FDE y de potencia de 0,1 % FDE.

El analizador de energía utilizado en el banco de ensayos del LABSOL, por su parte, permite caracterizar las señales de salida del inversor a partir de parámetros característicos de red, a saber, tensión, corriente, potencia, contenido armónico, factor de potencia, etc. Según el fabricante, este instrumento provee una exactitud media del 0,5 % (Prieb, 2011).

De esta forma, el banco de ensayos permite caracterizar inversores tanto desde el punto de vista de las eficiencias de conversión y de seguimiento del punto de máxima potencia así como a partir de las características que presenta la energía que inyecta a la red de BT y por tanto resulta una herramienta adecuada para contrastar el sistema de caracterización desarrollado por el GER. Se utilizó el banco del LABSOL para determinar experimentalmente la curva de eficiencia de conversión de un inversor para conexión a red marca FRONIUS IG20 considerando la metodología dispuesta por la norma EN 50530:2010. Inicialmente se realizaron ensayos utilizando los instrumentos de medida del LABSOL y luego se utilizó el sistema de evaluación desarrollado para obtener la eficiencia en las mismas condiciones de operación dispuestas para los ensayos anteriores a los efectos de comparar las medidas.

El inversor FRONIUS IG20, según datos del fabricante, posee una potencia nominal igual a 1800 W, admite una tensión de entrada máxima de 500 V y una corriente máxima de 14,3 A. Permite operar con tensiones de red de 230 V a frecuencias de 50/60 Hz y además posee una eficiencia de conversión máxima de 94,3 %. Considerando estas características se realizaron ensayos de determinación de la eficiencia de conversión para dos valores de tensión de punto de máxima potencia del arreglo, uno a 170 V y otro a 280 V.

RESULTADOS

La figura 4a presenta los resultados experimentales obtenidos en la evaluación de la eficiencia del inversor FRONIUS IG20 utilizando el sistema de medición desarrollado por el GER y el banco de ensayos del LABSOL-UFRGS para el caso de una tensión de polarización de 170 V y la figura 4b los obtenido para una tensión de polarización de 280 V.

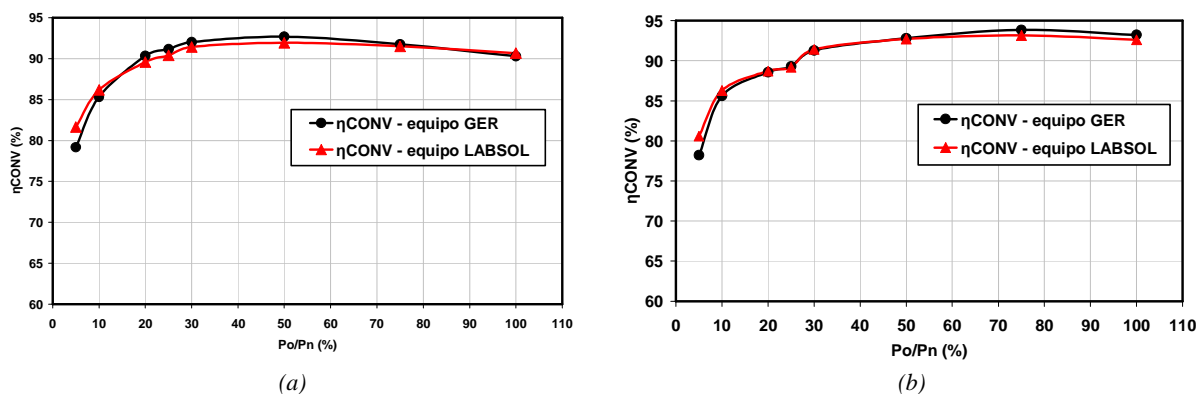


Figura 4. (a) Curvas de variación de la eficiencia de conversión del inversor FRONIUS IG20 obtenidas experimentalmente para una tensión de polarización de 170 V. (b) Curvas de variación de la eficiencia de conversión del FRONIUS IG20 obtenidas experimentalmente para una tensión de polarización de 280 V.

La curva de eficiencia de conversión del inversor FRONIUS IG20 presenta una discontinuidad para potencias de salida comprendidas entre el 20 y 30 % de la nominal. Esta disminución en la eficiencia se manifiesta con mayor intensidad cuando el inversor se polariza con tensiones cercanas a 280 V y, por tanto, puede ser asociada a defectos en la etapa de potencia del inversor que producen un aumento en las pérdidas de conmutación para esa condición de operación. Puede apreciarse en las figuras 4a y 4b que los valores de eficiencia adquiridos con el instrumento desarrollado por el GER para el rango de potencia citado (20 – 30 %) coinciden con los obtenidos con el equipo del LABSOL para las dos condiciones de polarización (170 y 280 V). Por tanto el instrumento desarrollado constituye una herramienta que permite detectar este tipo de defectos en el funcionamiento de inversores para conexión a red.

Por otra parte, se observó mayor aproximación a la respuesta en la eficiencia de conversión del inversor ensayado para valores de la potencia de salida mayores al 10 % respecto de la potencia nominal. El error cometido por el instrumento para este intervalo es menor al 1 % mientras que para cargas por debajo del 10 % de la nominal el error es mayor llegando a un máximo de 3 % (figura 5).

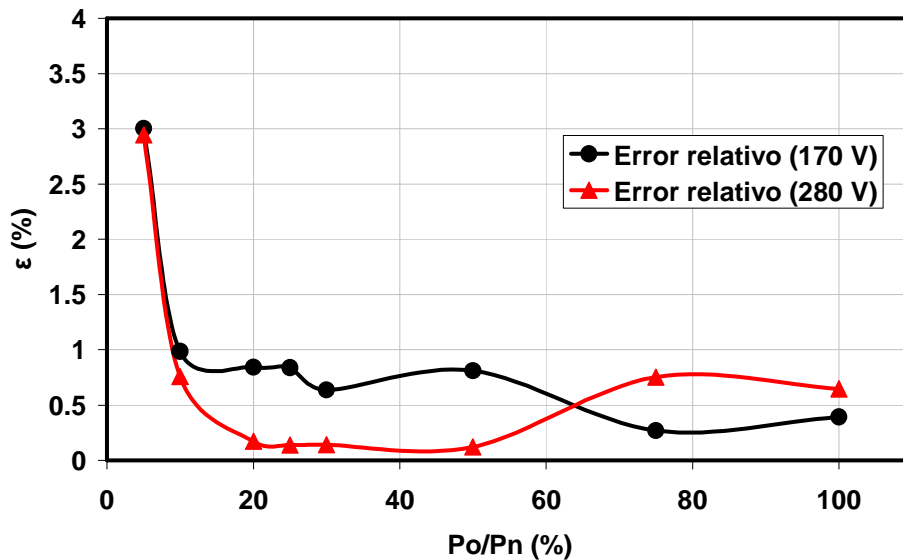


Figura 5. Variación del error relativo cometido por el instrumento en la evaluación de la eficiencia de conversión del FRONIUG IG20 como función de la potencia de salida del inversor para dos tensiones de polarización diferentes.

Los resultados obtenidos en la evaluación del desvío relativo del instrumento desarrollado limitan la utilización del sistema, para evaluar inversores, al rango de carga comprendido entre el 10 % y el 100 % de la potencia nominal del mismo. Para este intervalo el error relativo cometido se encuentra por debajo del 1 % cumpliendo lo establecido en la normativa correspondiente. Por otra parte el error relativo máximo cometido en la evaluación del punto correspondiente a 5 % de la carga nominal es inferior al 3 % y se atribuye a los errores cometidos en la determinación del factor de potencia de la energía entregada a red puesto que la mayoría de los inversores de uso en SFCR proveen factor de potencia bajo para este rango de trabajo. Esta disminución en el factor de potencia se debe, en mayor medida, al aumento de la distorsión armónica de la señal de corriente inyectada por el inversor con cargas menores al 10 % así como también al aumento del desfase entre las componentes fundamentales de las señales de tensión y corriente. Rampinelli, 2010 presenta resultados experimentales obtenidos del ensayo realizado sobre diferentes inversores que concuerdan con este hecho.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema de medición que permite caracterizar inversores para conexión a red de hasta 4,4 kW de potencia nominal y que cumple con lo dispuesto en la normativa internacional que versa respecto del tema. El sistema desarrollado permite evaluar la eficiencia de conversión de un inversor dentro del rango de operación comprendido entre el 10 % y el 100 % de la potencia nominal del mismo con un error relativo menor al 1 %. Para potencias menores al 10 % de la nominal el error cometido por el instrumento es menor al 3 % y se debe, en mayor medida, a la determinación de la energía inyectada a red con valores de factor de potencia bajos. Este hecho se asocia a que, bajo estas condiciones, la mayoría de los inversores para conexión a red proveen una señal de corriente de salida con elevada distorsión armónica cuando funcionan a baja potencia.

Como continuación del estudio se pretende emplear el instrumento desarrollado para caracterizar 8 inversores para conexión a red, propiedad del LABSOL-UFRGS, que serán evaluados en el banco de ensayos de este laboratorio con el objeto de elevar la confiabilidad de las mediciones. Por otra parte el instrumento será utilizado para caracterizar inversores que serán instalados en diferentes unidades académicas nacionales en el marco de un proyecto FONARSEC que pretende desarrollar estudios acerca de SFCR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BS 50438:2007. (2007). Requirements for the Connection of Micro-Generators in Parallel with Public Low-Voltage Distribution Networks.
- Canova A., Giaccone L., Spertino F., Tartaglia M. (2007). Electrical Impact of Photovoltaic Plant in Distributed Network, *IEEE*, pp. 1450-1455.
- Chivelet N, Sánchez J, Lillo S, Fabero F. (2009). Fundamentos, Dimensionado y Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica. *Serie Ponencias, Editorial CIEMAT. Capítulos 20-23.*
- EN 50530:2010. (2010). Overall Efficiency of Photovoltaic Inverters.
- EN 61683:2002. (2002). Photovoltaic Systems – Power Conditioners – Procedure for measuring Efficiency.

- Haeberlin H., Borgna L., Kaempfer M., Zwahlen U. (2005). Total Efficiency η_{TOT} - A new Quantity for Better Characterization of Grid-connected PV Inverters. 20th EPVSEC, v. CD-ROM, Barcelona, España.
- IEC 61724. (1998). Photovoltaic system performance monitoring – Guidelines for measurement, data exchange and análisis.
- IEC 61727. (2004). Photovoltaic (PV) Systems – Characteristics of the Utility Interface.
- IEEE P1159.1:2000. (2000). Recommended Practice on Monitoring Electric Power Quality.
- IRAM 210013-2. (1998). Módulos Fotovoltaicos. Características Eléctricas en Condiciones Normalizadas.
- Matlab R2010a (2010). <http://www.mathworks.com>
- Minplan (Secretaría de Energía, Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios). (2010). Generación, Potencia y Combustibles. *Partes 1 y 2 del Informe Estadístico del Sector Eléctrico*.
- NI USB6009. (2008). User Guide and Specifications. *National Instruments Corporation*. pp. 24-26
- Prieb C. (2011). Determinação da Eficiência de Seguimento de Máxima Potência de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede de Distribuição. *Disertación de Doctorado. Universidade Federal de Rio Grande do Sul*. pp. 68-75.
- Rampinelli G. (2010). Estudio de Características Eléctricas e Térmicas de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, *Tesis de Doctorado. Universidade Federal de Rio Grande do Sul*. pp. 115-127.
- Soracco E. (2008). “Argentina. Matriz Energética Nacional.” *Jornadas Regionales de Ingeniería 2008, Junio de 2008, Oberá Misiones Argentina*.

ABSTRACT: Energy Renewable Group (GER) has developed a measurement system that allows the characterization of grid tie inverters up to 4.4 kW following the guidelines established by international standards on the topic. This study presents the development of the instrument and the assessment of the deviations committed in the evaluation of the conversion efficiency by comparing the measurements against those taken with reference instruments at the test bench for inverters located at the Laboratorio de Energía Solar of the Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSOL-UFRGS). The measurement system allow to evaluate the inverter’s conversion efficiency in a power range between 10% and 100% of rated power with an error less than 1%. The error for power ratings under 10% is less than 3%.

Keywords: Grid Connected Photovoltaic Systems, Inverter, Instrumentation