

DETERMINACION DE LA EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DEL INVERSOR EMPLEADO EN UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA CONECTADO A RED INSTALADO EN EL NORDESTE ARGENTINO.

M. Cáceres^{1*}, A. Busso^{*}, C. Cadena[§], L. Vera^{*}

^{*} GER – Grupo en Energías Renovables - FaCENA – UNNE.

Av. Libertad 5470 – 3400 Corrientes. Argentina.

Tel/Fax: (03783) 473931 e-mail: chiro_frida@yahoo.com.ar

[§] INENCO – CONICET - UNSa

RESUMEN: Con el objeto de estudiar la factibilidad del empleo de sistemas de generación fotovoltaica conectados a red (SFCR) para implementar generación distribuida en redes de baja tensión, el Grupo en Energías Renovables (GER) realizó el dimensionamiento, instalación y monitoreo de un SFCR con una capacidad de generación de 500 W de potencia pico. En este estudio se presenta la configuración adoptada para la implementación del sistema, los equipos empleados y la metodología utilizada para la caracterización de uno de sus componentes, el inversor para conexión a red. En el desarrollo de este artículo se presentan curvas experimentales y teóricas de la variación de la eficiencia del inversor para diferentes condiciones de funcionamiento y se determinan los parámetros de ajuste de un modelo matemático que describe esta eficiencia. Por último se listan valores medios de funcionamiento que caracterizan parcialmente la energía inyectada a red. Los resultados obtenidos permiten concluir que se instaló y puso en marcha con éxito el primer SFCR en la región nordeste de la Argentina y que el inversor instalado funciona con una eficiencia media del 89,4% sin ocasionar perturbaciones apreciables en los parámetros característicos de la red de baja tensión a la que se conecta.

Palabras clave: Sistemas Fotovoltaicos, Conexión a Red, Generación Distribuida, Inversor.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas fotovoltaicos acoplados a red (SFCR) son un objeto actual de estudio y aplicación a nivel mundial. Un claro ejemplo de esto es el caso de España que logró cubrir hasta un 4% de la demanda de energía eléctrica en el año 2009 empleando generación fotovoltaica (IEA, 2009) (REN21, 2010). También existe un continuo crecimiento del uso de la generación fotovoltaica para abastecimiento de energía eléctrica en otros países como Alemania, China, Japón, Estados Unidos y, en Latinoamérica, México, Perú, Brasil entre otros (IEA, 2009) (U.S. Department of Energy, 2010) (Zilles, 2009).

En la Argentina, a los efectos de fomentar el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de electricidad, se sancionó la ley Nacional N° 26.190 en el año 2006 (reglamentada en el año 2009), la misma, a través de tarifas premium, promueve, entre otros métodos de generación, el empleo de sistemas fotovoltaicos. Sobre las bases de esta ley, en la provincia de San Juan, en Marzo de 2011 entró en funcionamiento la primera granja solar de Latinoamérica con una capacidad de generación pico de 1,2 MW de potencia que será ampliada a 20MW (Morán et al., 2009; Doña et al, 2008).

Estos sistemas cuyas capacidades de generación superan el MW se conectan a las líneas de distribución de media tensión y permiten abastecer centros de consumo durante los periodos de producción de energía, es decir cuando incide radiación solar sobre el generador fotovoltaico. Es por este hecho que, estos sistemas de generación intermitente, pueden abastecer una porción de la franja de consumo denominada de punta, que es la potencia demandada por el conjunto de usuarios con mayor variación a lo largo del día. En la Argentina, la energía requerida para abastecer esta demanda normalmente es suministrada por sistemas de generación que emplean combustibles fósiles ya que los mismos presentan una capacidad de regulación elevada y pueden responder a las variaciones requeridas por la demanda pico (Soracco, 2008). La conexión de SFCR permitiría disminuir el empleo de este tipo de sistemas de generación y reducir la emisión de CO₂ que lleva asociada, reduciendo el impacto ambiental provocado por la generación de energía eléctrica.

Por otra parte, también se pueden conectar SFCR de menor potencia (< a 10kW) a la red de baja tensión (BT) los cuales pueden ser acoplados arquitectónicamente a edificios existentes (Chivelet et al, 2009). Estos sistemas alimentan a las cargas del propio edificio en el que se instalan y entregan la energía restante (no consumida) a la red de distribución. Esta forma de implementar SFCR no solo permite disminuir el uso de generadores que utilizan combustibles fósiles sino que provee mejoras significativas en aquellas redes que se encuentran sobrecargadas por el aumento en el consumo y que han sido dimensionadas sin considerar la creciente demanda de energía eléctrica (MinPlan, 2010; CNEA, 2010). Este mecanismo de implementación de la GD limita la necesidad de realizar grandes obras civiles para su implantación y permite disminuir los costos asociados al redimensionamiento de las redes de distribución en BT mediante el acoplamiento de generadores de energía eléctrica confiables, que emplean recursos renovables y que resultan sustentables en el tiempo (Marion et al, 2005).

¹ Manuel Cáceres, Becario ANPCyT – UNNE.

Considerando lo expuesto y a los efectos de realizar un estudio del impacto provocado en la red de BT por el acoplamiento de este tipo de sistemas, el Grupo en Energías Renovables (GER) dependiente de la FaCENA-UNNE diseñó e instaló un SFCR de potencia pico de 500W conectado a la red de BT del edificio del Departamento de Física. En este estudio se presenta la configuración adoptada en el diseño del SFCR, la metodología empleada para determinar la eficiencia de conversión del inversor para conexión a red y los primeros resultados que caracterizan su funcionamiento.

EFICIENCIA DE CONVERSIÓN DEL INVERSOR PARA CONEXIÓN A RED.

Un SFCR comprende tres subsistemas, el generador fotovoltaico constituido por la interconexión eléctrica de un grupo de módulos FV, el inversor para conexión a red que es el encargado de inyectar la energía generada por los módulos a la red y, por último, la red de baja tensión a la cual se interconecta el sistema.

En particular, el inversor para conexión a red, cumple la función de adaptar las señales eléctricas a las condiciones requeridas para lograr la inyección de energía a la red de baja tensión. Esta modificación en las características de las señales de tensión y corriente generadas por el arreglo de módulos fotovoltaicos lleva asociada un costo energético que puede ser evaluado a partir de la determinación de la eficiencia del sistema de conversión cuya variación puede ser modelada mediante la ecuación 1 propuesta por (Rampinelli G, 2010):

$$\eta = \frac{P_O}{P_O + (k_0 + k_1 \cdot P_O + k_2 \cdot P_O^2)} \quad (1)$$

donde: $P_O = \frac{P_{O_AC}}{P_{nom}}$ es la potencia de salida (P_{O_AC}) normalizada a su valor nominal (P_{nom}).

En otras palabras, el rendimiento se evalúa como la relación entre la potencia de salida y la suma de esta con las pérdidas que se producen en el inversor. Estas pérdidas pueden ser representadas por un polinomio de 2° orden cuyos coeficientes indican la porción de energía perdida debido al autoconsumo del inversor (k_0), a los dispositivos electrónicos de conmutación que emplea el mismo (k_1) y a los conductores, resistencias, bobinas, etc. que lo componen (k_2).

La eficiencia del inversor puede ser evaluada experimentalmente empleando dos metodologías que difieren entre sí en la configuración adoptada para el ensayo. En una de ellas se conecta la entrada de corriente continua del inversor a una fuente de alimentación que emula las características eléctricas de un generador fotovoltaico. Este tipo de fuentes permite realizar variaciones en los parámetros eléctricos de salida y de esta forma logra simular las diferentes condiciones a las que podría estar expuesto el generador fotovoltaico. Durante el ensayo, el sistema de alimentación realiza un barrido, en un período de tiempo relativamente corto, que emula las diferentes capacidades de generación que puede presentar el arreglo FV (Durago Joseph, 2011). Si se miden y adquieren los valores que adoptan la potencia absorbida por el inversor y la entregada por este a la red se puede obtener la curva de variación de la eficiencia del inversor en ensayo. Esta metodología es la que se emplea normalmente en laboratorio.

En el segundo método en cambio, se utiliza el propio generador fotovoltaico para alimentar al inversor, es decir se lo ensaya directamente conectado al SFCR del que forma parte. Esta metodología posee los inconvenientes de que requiere de un período de tiempo mayor para cada ensayo, depende de factores climáticos y limita el ensayo a inversores cuya potencia nominal se encuentra por debajo de la capacidad máxima de generación instalada.

En Rampinelli G (2010) se utilizó la segunda metodología citada para ensayar diferentes inversores. Como ejemplo de ello, la Figura 1 presenta la curva experimental adquirida para los modelos QS2000 de 1750 W de potencia nominal y QS3200 de 2750 W de potencia nominal, ambos de la marca Mastervolt. En estos gráficos también se puede apreciar la curva teórica obtenida a través del ajuste de los coeficientes de la ecuación (1).

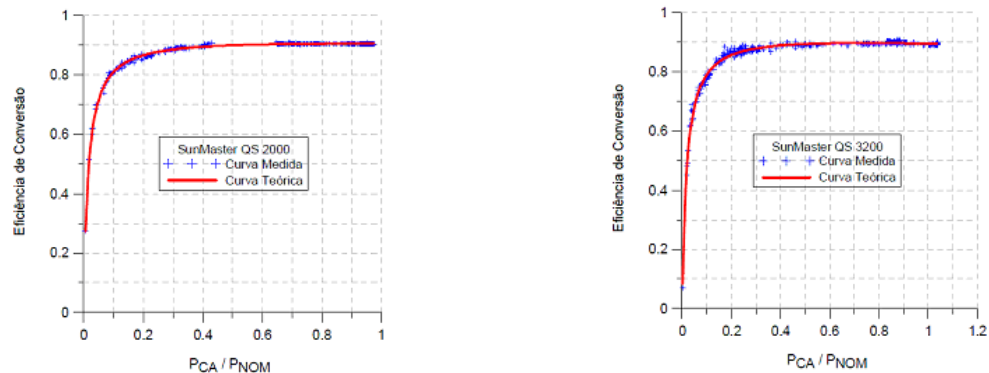


Figura 1. Curvas experimental y teórica de variación de la eficiencia de conversión para dos inversores de la marca Mastervolt. (Fuente: Rampinelli et al, 2008).

La Tabla 2 presenta los parámetros que ajustan cada curva teórica.

Parámetros de Ajuste			
Modelo:	K ₀	K ₁	K ₂
QS2000	0,0164	0,0696	0,0199
QS3200	0,0201	0,0606	0,0366

Tabla 1. Parámetros de ajuste del modelo matemático de eficiencia de inversor para los equipos Mastervolt Sunmaster QS2000 y Sunmaster QS3200. (Fuente: Rampinelli et al, 2008).

SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED

El SFCR diseñado e instalado por el GER posee, además de los elementos citados anteriormente, un tablero de conexión, medición y maniobras diseñado para facilitar el ensayo y caracterización de cada uno de los elementos o subsistemas que componen el SFCR.

Generador Fotovoltaico:

A los efectos de brindar versatilidad al sistema para el ensayo de diferentes inversores, se proyectó un arreglo fotovoltaico de 1200Wp de potencia, que es una capacidad de generación mayor a la requerida por el inversor que actualmente integra el SFCR (500W) y que será descrito en detalle posteriormente en este artículo. El generador FV está constituido por cuatro paneles conectados en paralelo de seis módulos cada uno (Photon PM050). Los parámetros característicos que especifica el fabricante de los módulos fotovoltaicos son: I_{SC} (corriente de cortocircuito) = 3,2A; V_{OC} (tensión de circuito abierto) = 21,6V; I_{PM} (corriente para el punto de máxima potencia) = 2,8A; V_{PM} (tensión para el punto de máxima potencia) = 17,7V; P_{PM} (potencia para el punto de máxima potencia) = 50W.

La conexión entre módulos se realizó mediante borneras dispuestas en cajas de derivación estancas de manera tal que sea posible modificar la configuración del arreglo a los efectos de realizar ensayos con distintas potencias.

En Bello et al (2009) se determinó la curva I-V de 39 módulos fotovoltaicos de la misma marca, se realizó la normalización de estas curvas a condiciones estándar y la determinación de los parámetros característicos de cada módulo. Con los datos obtenidos de este estudio se realizó la selección de los 24 módulos a instalar teniendo en cuenta las condiciones óptimas de acoplamiento entre ellos. De esta forma, se obtuvo un arreglo fotovoltaico cuyos parámetros eléctricos en condiciones estándar son los siguientes: $I_{SC} = 12,8A$; $V_{OC} = 129,6V$; $I_{PM} = 11,2A$; $V_{PM} = 106,2V$; $P_{PM} = 1189W$.

El generador fotovoltaico fue dispuesto sobre la estructura de parasoles que posee el segundo piso del edificio del Dpto. de Física (Figura 2a). Para ello, se construyeron 12 estructuras de aluminio que permiten la sujeción de un par de módulos en cada una. Cada estructura está asociada a un jinete articulado que provee el grado de libertad necesario para realizar variaciones en el ángulo de inclinación del arreglo (Figura 2b). La estructura posee además un soporte regulado que permite fijar su ángulo de inclinación, el cual también limita el esfuerzo que se desarrolla sobre los jinetes y asegura la sujeción de las estructuras soporte a los parasoles citados (Figura 2c).



(a)

(b)

(c)

Figura 2. (a) Generador fotovoltaico dispuesto sobre la estructura de parasoles del edificio del Dpto. de Física. (b) Detalle de los jinetes articulados utilizados. (c)Detalle del brazo soporte empleado para fijar la inclinación del arreglo.

Tablero de conexión, medición y maniobras:

El tablero fue diseñado para proporcionar distintos puntos de medición para la realización de ensayos en los diferentes componentes del sistema. Los conductores que acometen al tablero desde cada uno de los arreglos fotovoltaicos se conectan a porta fusibles de tipo tabaquera, los que pueden ser utilizados para seccionamiento o para la conexión de diodos de bloqueo. Cada una de las acometidas cuenta con una resistencia empleada para medición de corriente continua (shunt), y es conectada en paralelo a dos llaves termomagnéticas que permiten por un lado brindar alimentación al sistema de conversión de potencia (inversor) y por otro seccionar el arreglo para realizar mediciones independientes sobre cada grupo de módulos sin interferir con el funcionamiento del sistema. Además, se dispuso un porta fusible de tipo tabaquera para la realización de ensayos de cortocircuito de cada arreglo.

El tablero posee un punto de conexión para la etapa de entrada de corriente continua del inversor. La energía eléctrica convertida que retorna desde el inversor al tablero acomete a una llave termomagnética que secciona la conexión a la red eléctrica en corriente alterna. Se dispuso también un medidor de energía electrónico para registrar la energía eléctrica generada por el sistema.

La Figura 3 presenta una fotografía del tablero de conexión, medición y maniobras anteriormente descrito.

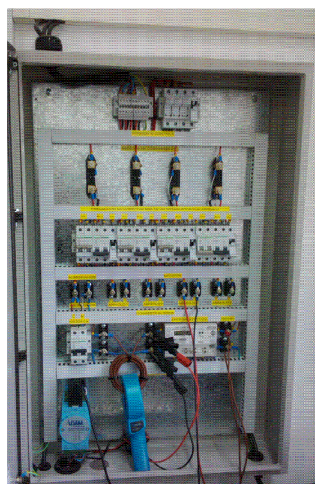


Figura 3. Tablero de conexión, medición y maniobras.

Inversor para conexión a red (Convertidor CC-CA):

El inversor empleado para la etapa de conversión de potencia es de la marca Mastervolt y se denomina comercialmente Soladin 600. Las características eléctricas especificadas por el fabricante se presentan en la Tabla 2.

Magnitud	Símbolo	Unidad	Valor
Potencia nominal en CC	$P_{NOM DC}$	W (Watt)	550
Tensión máxima de entrada en CC	$V_{MAX DC}$	V (Volt)	155
Corriente máxima de entrada en CC	$I_{MAX DC}$	A (Ampere)	8
Tensión de salida en ac	V_{AC}	V (Volt)	230
Frecuencia de salida	F_{AC}	Hz (Hertz)	50
Factor de potencia de salida	$\cos\phi$	Adimensional	0,99
Potencia nominal de salida	$P_{N AC}$	W (Watt)	525
Eficiencia máxima	η_{MAX}	% (Porcentual)	93

Tabla 2. Características eléctricas proporcionadas por el fabricante del inversor Mastervolt Soladin 600.

La Figura 4 muestra una fotografía del inversor empleado. El mismo posee incorporadas todas las protecciones necesarias para la interconexión del sistema con la red eléctrica. Estas protecciones aseguran la desconexión total del sistema de generación en caso de falla del suministro eléctrico de la red, variación en la frecuencia de red, por alta y baja tensión, etc. Para la protección contra contactos eventuales se utilizó una llave diferencial instalada en el circuito al que se conecta el sistema y se realizó la conexión de todas las partes metálicas de la instalación con la puesta a tierra de la red eléctrica del edificio.

En una siguiente etapa de la investigación se prevé aumentar la capacidad de generación e instalar un inversor de mayor potencia nominal.



Figura 4. Inversor Soladin 600 de Mastervolt.

METODOLOGÍA EMPLEADA PARA CARACTERIZAR EL INVERSOR PARA CONEXIÓN A RED

El inversor para conexión a red fue caracterizado a partir de la determinación de la curva de variación de eficiencia en función de la potencia de salida. La metodología adoptada para determinar esta curva consistió en la medición de los valores que adopta la potencia activa de entrada y salida y, posteriormente se evaluó su relación para distintas condiciones de irradiación. Para las mediciones en corriente continua se utilizó una placa de adquisición de datos marca ADAM modelo 4018M cuya resolución en la etapa de conversión analógica/digital (A/D) es de 16 bits con una exactitud media del 0.1% y una tensión máxima de entrada limitada a $\pm 35V$. El canal de medición de corriente fue conectado a un *shunt* (resistencia calibrada) fondo de escala de 10A y 0.5%. Si se considera la tensión máxima que puede proporcionar el arreglo fotovoltaico (Voc), la misma supera ampliamente el valor máximo que acepta el conversor A/D, es por esto que el canal de medición de tensión fue acoplado a un divisor resistivo desarrollado con resistencias de tolerancia del 1% con el objeto de limitar las tensiones existentes en el dispositivo de adquisición. En ambos canales se verificó tanto linealidad como exactitud mediante el uso, como instrumento patrón, de un multímetro FLUKE 289 que posee una incertidumbre de medición en CC de 0,025%.

Las señales de alterna fueron adquiridas con una placa de adquisición de datos marca National Instrument modelo NIDaqs USB6002. La misma admite una frecuencia de muestreo máxima de 48 ks/s, una resolución en conversión A/D de 14 bits, y una exactitud media del 0.1%. A los efectos de aislar galvánicamente el sistema de medición se utilizaron transformadores de medición. Por un lado se empleó un transformador de tensión clase 1 con una relación de transformación de 20:1, y para medir corrientes un transductor de intensidad marca Metrel clase 1 con relación 5A/1V. Se desarrolló una aplicación en entorno Matlab para adquirir y procesar las señales de alterna, la que permite determinar, empleando filtros digitales, los valores eficaces de las componentes fundamentales de tensión y corriente, el factor de potencia total y la potencia activa inyectada a la red en el tiempo. La exactitud y linealidad del sistema de adquisición descripto fue evaluado por contraste, por un lado con un multímetro Fluke 289 de valor eficaz verdadero y por otro con un sistema de análisis de redes marca Metrel MI 2092 que provee una incertidumbre del 1%.

Las curvas de variación de la eficiencia del inversor fueron obtenidas para días de cielo limpio con la intención de disminuir el error ocasionado en la medición debido a variaciones bruscas en la potencia disponible por efecto de variación en la radiación solar. Con este criterio se puede desprestigiar el error cometido en la evaluación al no considerar las deficiencias que existen en el sistema de seguimiento del punto de máxima potencia (SSPMP) que posee el inversor es decir, considerando únicamente pérdidas debido a la conversión. Normalmente la eficiencia media del SSPMP en inversores comerciales es próxima al 99% (Rampinelli G, 2010) por lo que se considera que el error cometido al desprestigiar sus efectos es relativamente bajo y no modifica sustancialmente los resultados. Para los ensayos realizados se configuró el arreglo para proporcionar una capacidad de generación pico de 500Wp.

Por otra parte, para evaluar valores medios en los parámetros que describen la energía inyectada por el inversor, se empleó un analizador de redes marca Metrel MI2092 que permitió adquirir valores de tensión, corriente, factor de potencia y distorsión armónica total en la señal de corriente (THDi) con una exactitud media del 1% y que permaneció conectado al sistema durante 6 meses a los efectos de adquirir y almacenar datos en intervalos de 10 minutos.

RESULTADOS

Las Figuras 5a y 5b presentan las curvas de variación de la potencia generada por el arreglo fotovoltaico durante el periodo de generación y de la potencia activa inyectada a la red para un día de cielo limpio en otoño. Con estos valores se determinó variación de la eficiencia del inversor para este día.

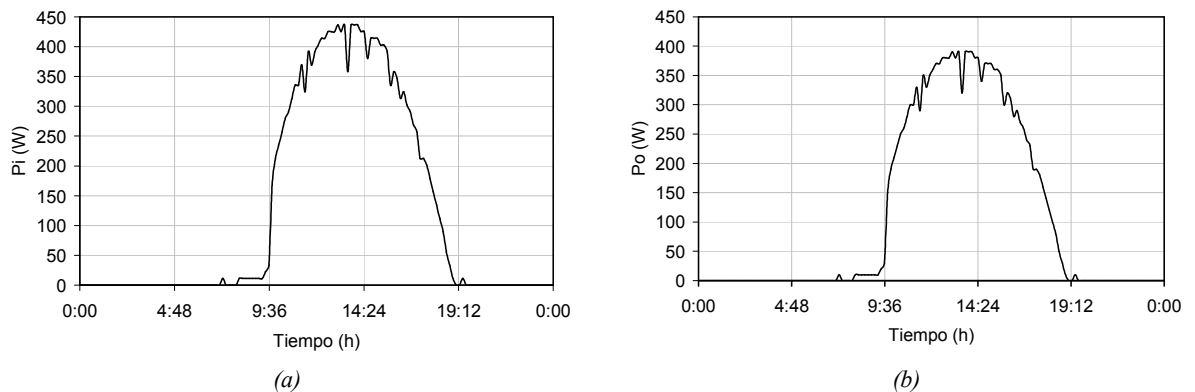


Figura 5. (a) Curva de variación de la potencia generada por el arreglo fotovoltaico medida a la entrada del inversor para un día. (b) Curva de variación de la potencia activa entregada a la red medida a la salida del inversor para un día.

Evaluación de la eficiencia del inversor Soladin 600.

El fabricante del inversor Soladin 600 especifica que la potencia nominal de este equipo es de 525W. Mediante ensayos realizados sobre este equipo, en los laboratorios del GER, se pudo constatar que la potencia máxima que puede inyectar, independientemente de la potencia disponible en el generador fotovoltaico, no supera los 500W. Este defecto se atribuye, en principio, a que los parámetros de control de la etapa de SSPMP limitan la potencia a inyectar a este valor menor al proporcionado en hojas características. Para la normalización requerida en la ecuación 1 se utilizó como valor de potencia nominal (P_{MAX}) el obtenido mediante ensayo (500W).

La Figura 6 muestra los puntos que representan la variación en la eficiencia del inversor obtenida durante un día de cielo limpio en otoño. También se muestra la curva teórica obtenida a partir del ajuste de los valores experimentales con el ecuación 1 que permite determinar la eficiencia para distintas condiciones de carga. En la Tabla 3 se listan los valores obtenidos para los coeficientes de ajuste.

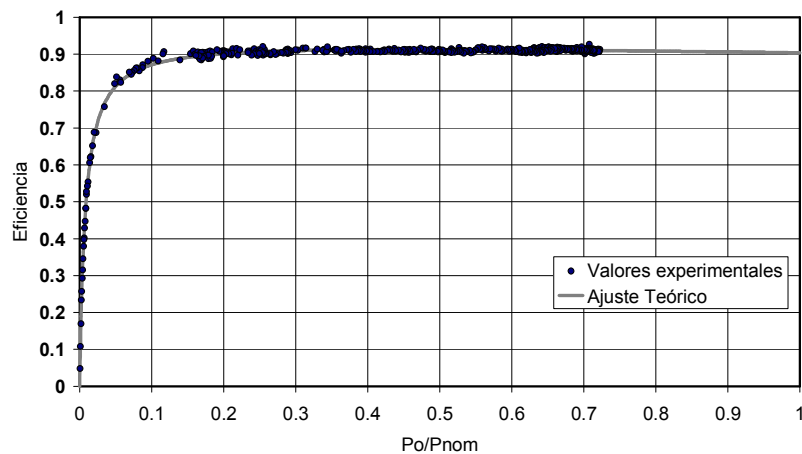


Figura 6. Curvas experimental y teórica de variación de la eficiencia de conversión del inversor Mastervolt Soladin 600 en función de la potencia de salida normalizada a la potencia nominal.

Parámetros de Ajuste			
Modelo:	K_0	K_1	K_2
Soladin 600	0,00842	0,06	0,0384

Tabla 3. Parámetros de ajuste del modelo matemático de eficiencia para el inversor Mastervolt Soladin 600.

A diferencia de los inversores Mastervolt que han sido ensayados por Rampinelli G (2010) y cuyas curvas de eficiencia se muestran en la Figura 1 se observa que para potencias de salida menores al 25% de la nominal el Soladin 600 se encuentra en operación con una eficiencia aceptable (>85%) mientras que en los ensayados por Rampinelli, para potencias de operación por encima del 30% de su potencia nominal alcanzan una eficiencia mayor al 90%. Este hecho se atribuye a que los inversores presentados por el autor citado son de otra generación y el que aquí se presenta es relativamente nuevo en el aspecto tecnológico ya que prescinde de un transformador de aislamiento puesto que el sistema realiza la ondulación directamente sobre la carga previo acondicionamiento de la señal del bus de continua mediante un convertidor cc-cc. Los inversores ensayados en el estudio citado previamente ondulan sobre un transformador dimensionado para trabajar a una frecuencia de 50 Hz hecho que radica en una disminución en la eficiencia cuando funcionan en régimen de baja potencia.

Del análisis realizado sobre los datos adquiridos durante 6 meses de funcionamiento del SFCR considerando únicamente los períodos de inyección de energía eléctrica, se obtuvo un valor medio del factor de potencia en la energía inyectada de 0,93 con una distorsión armónica total en corriente (THDi) menor al 10%, una eficiencia de conversión media del inversor de 89,4% y una eficiencia de conversión máxima del 91,2%. La Dirección provincial de Energía de Corrientes (DPEC) establece, en su reglamento para el suministro de energía eléctrica (DPEC, 2003), un valor mínimo para el factor de potencia de cualquier instalación de 0,95. Si bien el valor medio que adopta el factor de potencia de la energía generada es menor, es de carácter inductivo, es decir que aporta a la corrección del factor de potencia de la instalación eléctrica de la universidad. Por otra parte el inversor no provoca mayores perturbaciones en los parámetros característicos de la red de baja tensión a la que se conecta puesto que cumple con los estándares definidos en las normas internacionales IEC 61000-3-2, ANSI/IEEE 519-1992. No existiendo aún una normativa desarrollada en la Argentina en lo que se refiere a las características que debe poseer la energía generada por los sistemas de generación fotovoltaica o de los estándares que debe cumplir el inversor para conexión a red, se toman como referencia los límites establecidos en las normas citadas.

Variación en la curvas de eficiencia del inversor para diferentes condiciones ambientales.

Las Figuras 7a y 7b muestran los puntos experimentales y las curvas teóricas que representan la variación de la eficiencia de conversión del inversor Soladin 600 adquiridos para dos períodos con diferentes condiciones en el ambiente que rodea al mismo. En estas gráficas se aprecia una variación en la curva de eficiencia que se asocia a cambios en la temperatura del ambiente.

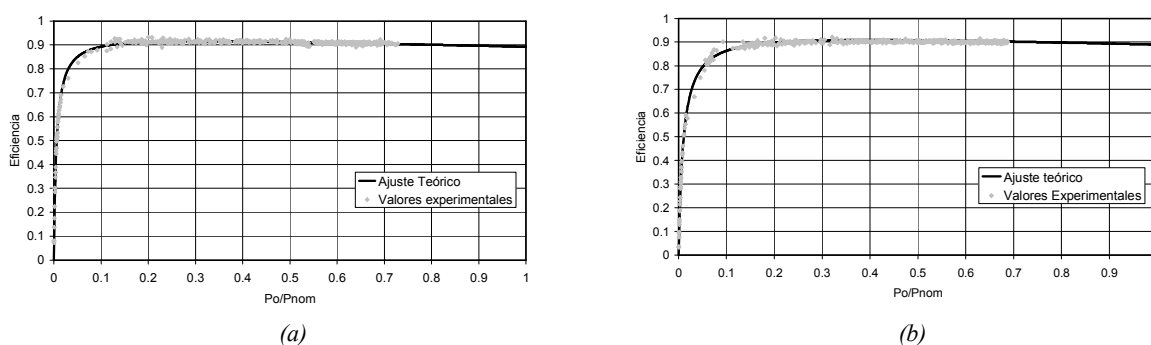


Figura 7. (a) Curvas experimental y teórica de variación de la eficiencia de conversión del inversor Mastervolt Soladin 600 para temperatura de operación comprendida entre 20°C y 25°C. (b) Curvas experimental y teórica de variación de la eficiencia de conversión del inversor Mastervolt Soladin 600 para temperatura media de operación comprendida entre 25°C y 30°C.

De un análisis cualitativo desarrollado a partir de los gráficos presentados surge, como un paso posterior posible en la investigación, el estudio de la dependencia de los factores de ajuste del modelo de eficiencia de inversor presentado en la ecuación 1 con la temperatura del ambiente que rodea al inversor para conexión a red.

CONCLUSIONES

Se realizó con éxito la instalación y puesta en marcha del primer SFCR en la región nordeste de la República Argentina.

El inversor para conexión a red empleado en el SFCR no alcanza a suministrar con la potencia nominal que especifica su fabricante. Este equipo opera con un factor de potencia medio de 0,93, una THDi menor al 10%, una eficiencia de conversión media del 89,4% y una eficiencia máxima del 91,2%, sin ocasionar perturbaciones apreciables en los parámetros característicos de la red de baja tensión.

Los valores que adoptan los coeficientes k_1 y k_2 , que ajustan la curva teórica que describe la variación de la eficiencia del inversor, se aproximan a los valores obtenidos en ensayos anteriores. En cambio el valor que adopta el coeficiente

k_{θ} del inversor ensayado se encuentra por debajo de los valores de comparación hecho que se puede atribuir a las mejoras tecnológicas aplicadas en el diseño del equipo.

Como continuación del estudio se prevé encarar la determinación de la variación que se produce en los coeficientes de ajuste del modelo de eficiencia de inversor por efecto de la temperatura de operación del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/IEEE 519-1992. (1992). Guía para Control de Armónicos y Compensación reactiva en Convertidores de Potencia Estáticos. *IEEE*.
- Bello C., Jimenez V., Toranzos V., Busso A., Vera L., Cadena C. (2009), Relevador Portatil de Curvas I-V de Paneles Fotovoltaicos como Herramienta de Diagnóstico *In Situ* de Sistemas de Generación Fotovoltaica, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 13, pp. 77-83, ASADES*.
- 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*.
- CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica). (2010). Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina. *pp. 1-13*.
- Doña V. M., Strada T. J., Hoesé A. (2008). Proyecto Solar San Juan: Objetivos y Etapas. *Gobierno de la Provincia de San Juan – Argentina*.
- DPEC (Dirección Provincial de Energía de Corrientes). (2003). Reglamento General para el Suministro de Energía Eléctrica. *Anexo 3*.
- Durago J. (2011). Photovoltaic Emulator Adaptable to Irradiance, Temperature and Panel-Specific I-V Curves. *Disertación de Maestría, Faculty of California Polytechnic State University, pp. 2-10*.
- IEA (International Energy Agency). (2010). PV Power Update. *Newsletter of the IEA PVPS. Vol. 33 pp. 2-8*.
- IEA (International Energy Agency). (2010). Trends in Photovoltaic Applications. Survey Report of Selected IEA Countries between 1992 and 2009. *Report IEA PVPS T1-19. pp. 3-40*.
- IEC 61000-3-2. (2005). EMC Limits for Harmonics Current Emissions.
- Marion B, Adelstein J, Boyle K, Hayden H, Hammond B, Fletcher T, Cabada B, Narang D, Shugar D, Wenger H, Kimber A, Mitchell L, Rich G, Townsend T. (2005). Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. *NREL. 31st IEEE Photovoltaics Specialists. pp. 1-6*.
- Minplan (Secretaría de Energía, Ministerio de Planificación Federal Inversión Pública y Servicios). (2009). Generación, Potencia y Combustibles. *Partes 1 y 2 del Informe Estadístico del Sector Eléctrico*.
- Morán F., Facchini M., Pontoriero D., Doña V. (2009), Inserción de Generación Distribuida a Través de Instalaciones Fotovoltaicas Domiciliarias Ajustadas a las Curvas Típicas de Demanda Residencial, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 13, pp. 93-99. ASADES*.
- Rampinelli G. (2010), Estudio de Características Eléctricas e Térmicas de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede, *Disertación de Doctorado. Universidade Federal de Rio Grande do Sul. pp. 115-127*.
- REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century). (2010). Renewables 2010 Global Status Report. *pp. 5-68*.
- Soracco E. (2008). "Argentina. Matriz Energética Nacional." *Jornadas Regionales de Ingeniería 2008, Junio de 2008, Oberá Misiones Argentina*.
- U.S. Department of Energy. (2010). "2009 Renewable Energy Data Book". *Energy Efficiency and Renewable Energy, Agosto de 2010*.
- Zilles R. (2009). Los Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red en Operación en Brasil y Resultados Operacionales de un Sistema. *XVI Simposio de Energía Solar, Noviembre de 2009, Arequipa, Perú*.

ABSTRACT: In order to study the feasibility of using grid-connected PV systems (SFCR) to introduce distributed generation in low voltage, the Grupo en Energías Renovables (GER) made the dimensioning, installation and monitoring of a SFCR with a generating capacity of 500 Wp. This study presents the adopted configuration for the system, the equipment and methodology used for the characterization of the inverter. This paper presents experimental and theoretical curves of the variation of the efficiency of the inverter under different operating conditions and fitting parameters corresponding to a mathematical model describing this efficiency. Finally operating values that partially characterize the energy injected to the grid are listed. The results obtained indicate that the first SFCR was successfully installed in the northeast region of Argentina and the inverter installed works with an average efficiency of 89.4% without causing significant disruption in the characteristic parameters of the low voltage grid to which it connects.

Keywords: Photovoltaic Systems, Grid Connected, Distributed Generation, Inverter.