

## **MEDICIONES INICIALES DE UNA MINI CENTRAL FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED**

**V.H. Serrano, M.T. Montero Larocca y V.M. Javi**

Instituto de Investigación en Energías No Convencionales INENCO (U.N.Sa- CONICET)

Facultad de Ciencias Exactas – Departamento de Física

Consejo de Investigaciones de la U.N.Sa (CIUNSa)<sup>1</sup>

Universidad Nacional de Salta – Av. Bolivia 5150 C.P. 4400 – Salta

Tel - Fax 0387-4255489 - e-mail: [ingemarite@argentina.com](mailto:ingemarite@argentina.com)

**RESUMEN:** El trabajo, luego de repasar someramente los fundamentos técnicos de una mini central FV conectada a red, muestra el diseño de tres métodos de medición para obtener la eficiencia de un inversor conectado a la red. Los métodos diseñados y desarrollados son: 1) Generador fotovoltaico – Inversor - Grupo electrógeno. 2) Fuente de tensión – Inversor – Red eléctrica. 3) Generador fotovoltaico – Inversor – Red eléctrica. En el primer ensayo se destaca la posibilidad que trabajen asociados una mini central conectada a red con sistemas tradicionales de generación. Con el segundo ensayo se logra caracterizar el inversor. Con la última prueba se concluye que la potencia nominal del inversor no incide en la red eléctrica del laboratorio. Se destaca el avance logrado con estas tres experiencias iniciales a pesar de obstáculos al inicio de la investigación, tanto en la provisión de los insumos electrónicos para este tipo de conexión en el país como en el financiamiento disponible que se identifican como barreras tecnológicas a las Energías Renovables.

**Palabras clave:** mini central conectada a red, eficiencia del inversor, barreras tecnológicas.

### **INTRODUCCIÓN**

Los sistemas fotovoltaicos pueden ser autónomos o conectados a la red eléctrica. En el caso de los primeros, el diseño se aplica a determinar el tamaño del generador fotovoltaico y del acumulador capaz de alimentar a una determinada carga que puede considerarse como un dato del problema. Sin embargo, en el caso de los sistemas conectados a la red, el diseño se aplica a estimar la producción anual de energía entregada a la red, y es el tamaño del generador el que puede considerarse como dato (Lorenzo, E, 2006).

En ambos casos es importante comprender que, para llegar a prestar un servicio efectivo, los sistemas fotovoltaicos deben alcanzar una elevada fiabilidad en el ámbito de la generación eléctrica, donde los tiempos de vida de las instalaciones deben ser grandes, es decir más de 20 años.

Esta fiabilidad se entiende como ausencia de averías, y alcanzarla no sólo es cuestión de calcular tamaños o estimar producciones, sino que se debe tener en cuenta la elección de materiales, la adecuada instalación, las protecciones, el mantenimiento, etc.

En una instalación de un sistema fotovoltaico conectado a red, la energía del sol se recoge mediante los módulos fotovoltaicos y se inyecta a la red eléctrica tradicional. Así la energía producida por dicho sistema pasa a alimentar a la red eléctrica, convirtiendo la energía solar en una energía limpia que se consume y distribuye de la misma forma que la energía eléctrica tradicional. El consumo eléctrico se sigue realizando con la red tradicional.

El ciclo de vida de los paneles fotovoltaicos tiene una duración de 25 a 30 años aproximadamente. Este ciclo está formado por: 1) Tecnología de fabricación, 2) Producción de energía eléctrica donde se adopta el término de energía limpia y 3) Fin del ciclo cuando se convierten en residuos. Tanto la 1 como la 3 se consideran etapas que contribuyen a la polución, aunque con la utilización de reciclaje pueden reutilizarse los paneles y disminuir los niveles de contaminación.

Una mini-central fotovoltaica es un sistema FV conectado a red. La capacidad de la potencia nominal (unas decenas de kWp) de un sistema FV hace que este pueda atender parte de la carga de un usuario localizado pero la energía puede también ser inyectada directamente a la red (Moura de S. B. El, et al, 2007).

Se establece así una asociación entre el consumidor/generador que puede inyectar energía a la red en momentos en los que su generación supere su consumo. En otros momentos la energía podrá ser tomada de la red. La inyección de energía a la red, en el mercado de servicio eléctrico, se traduciría en una “venta” de energía y el consumo de energía como una “compra”. Moura de S. Barbosa presenta dos configuraciones básicas para estos sistemas: con y sin acumulador de energía (Moura de S. B. El, et al, 2007) y propone un arreglo que incluye un generador FV, un inversor, un banco de baterías. Un sistema de este tipo inyecta energía a la red en sus momentos críticos. La misma provendrá del generador o del banco de baterías por la noche o

---

<sup>1</sup> Proyectos CIUNSa. N° 1807 y N° 1794.

en las horas de mayor consumo. Así esta mini-central localizada afecta positivamente a la economía del sistema (Moura de S. B. El, et al, 2007).

El análisis de estos sistemas se basa en el monitoreo de su rendimiento global o rendimiento energético de la instalación a través de medidas apropiadas que incluyen también otros parámetros de interés tales como medidas ambientales, medidas de temperatura en el sistema FV, radiación solar y el desempeño energético del sistema en situación de operación real.

Una instalación fotovoltaica conectada a red está conformada por las siguientes partes (Caamaño Martín E., 1999):

- Subsistema generador, formado por módulos fotovoltaicos y su correspondiente estructura de soporte.
- Subsistema acondicionador de potencia, responsable de adaptar las características eléctricas de la energía producida por el subsistema generador a las requeridas por el subsistema consumidor o auxiliar, es decir, convertidor DC/AC o inversor.
- Subsistema de seguridad, formado por un conjunto de elementos y medidas adoptadas con el fin de asegurar un correcto funcionamiento del conjunto.
- Subsistema consumidor, formado por todas aquellas aplicaciones que demandan energía eléctrica para su funcionamiento.
- Subsistema auxiliar, constituido por la red eléctrica convencional

Son diversos los aspectos que despiertan interés en este tipo de sistema:

- Desde el punto de vista energético se trata de la aplicación de la energía solar fotovoltaica de mayor eficiencia, ya que la generación se realiza en el lugar del consumo (se evitan las pérdidas de transporte y distribución) con pocas pérdidas de transformación (los inversores operan típicamente a elevados niveles de eficiencia y en baja tensión) y contando con un subsistema auxiliar de elevada fiabilidad, la red eléctrica. Asimismo, la coincidencia de las horas de máxima generación con las de mayor consumo, tendencia cada vez mas constatada en los países industrializados, otorga un valor añadido a estos sistemas.
- Desde el punto de vista funcional, el generador fotovoltaico es susceptible de ser empleado como elemento constructivo con fines arquitectónicos de tipo estéticos, innovador, protector, recubrimiento, etc.
- Desde el punto medioambiental, estos sistemas suponen una forma eficiente de reducir las emisiones de agentes contaminantes a la atmósfera ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$  fundamentalmente), derivados de la generación de energía mediante fuentes convencionales.

La energía eléctrica que entrega a la red un sistema fotovoltaico conectado a ella es la que produce su generador menos la que pierde su inversor (Lorenzo, E, 2006).

Como acciones iniciales en el marco del Proyecto C.I.U.N.Sa N° 1807 “Mediciones Iniciales de una Mini Central Fotovoltaica Experimental Conectada a red” se adquirió un inversor de pequeño porte, el SOLADIN 120. Para dar lugar a los estudios iniciales de una conexión a red se consideró el análisis de la eficiencia del inversor teniendo en cuenta los parámetros de entrada, generales y de salida del SOLADIN. En este trabajo se presentan las experiencias diseñadas y desarrolladas. Estas fueron: 1) Generador fotovoltaico – Inversor - Grupo electrógeno. 2) Fuente de tensión – Inversor – Red eléctrica. 3) Generador fotovoltaico – Inversor – Red eléctrica

## **FUNDAMENTOS**

La radiación solar es convertida en energía eléctrica por los módulos fotovoltaicos durante un rango de tiempo dado por las horas del sol y estaciones del año, también depende de la nubosidad, albedo, temperatura de celda, etc. se tiene así que la energía obtenida no siempre es constante. Sumado a esto están las caídas de tensión en los cables y las pérdidas que se producen en el inversor por la conversión de la corriente continua (CC) a corriente alterna (CA). Por todo esto es necesario aumentar la eficiencia de los inversores para disponer al máximo de la energía generada. Por ello los fabricantes utilizan diferentes métodos de conversión con semiconductores especialmente diseñados para lograr mejoras en la eficiencia de los mismos.

En ensayos de laboratorio se determino que los parámetros de mayor impacto sobre la eficiencia son la tensión de entrada (Bower W, 2004) y la potencia de salida (King L, 2007). La primera depende de los generadores fotovoltaicos y la segunda de la demanda energética que deba satisfacer. Este es un dato aleatorio que debe ser monitoreado. Considerando estos parámetros se diseñaron tres experiencias para determinar la eficiencia del inversor.

Estas fueron: 1) Generador fotovoltaico – Inversor - Grupo electrógeno. 2) Fuente de tensión – Inversor – Red eléctrica. 3) Generador fotovoltaico – Inversor – Red eléctrica.

## **CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR**

Las especificaciones técnicas provistas por los fabricantes entregan información adecuada para la correcta instalación del inversor, los parámetros de salida del mismo son entre otros tensión, corriente y frecuencia. Como datos de entrada se tiene tensión, corriente, máxima potencia, tensión de encendido, distorsión armónica total, factor de potencia. Entre los generales están las consideraciones ambientales, de seguridad, etc.

Los parámetros de mayor relevancia del inversor SOLADIN 120 utilizado en este trabajo se presentan en la tabla 1.

Generales		Entrada					Salida			
Temp. [°C]	Humed Relativ [%]	Poten nomin [W <sub>DC</sub> ]	Poten máxima a 50V <sub>DC</sub> [W <sub>DC</sub> ]	Poten de PV [W <sub>P</sub> ]	Tensión [V <sub>DC</sub> ]	Poten encendido a 24V <sub>DC</sub> [W <sub>DC</sub> ]	Tensión [V <sub>AC</sub> ]	Corriente máxima [Amper]	Frec [Hz]	Eficiencia [máx]
0 - 40	Máx. 95	90	120	80 - 145	24 - 40	0,4	230	0,45	50	93

Tabla 1: Especificaciones técnicas del inversor Soladin 120

Como se observa en la Tabla 1 el dato de potencia nominal no tiene especificado el valor de tensión con el que fue medido. Así mismo la eficiencia tiene un valor pico dado con un régimen óptimo de pruebas y mediciones, este valor no entrega información de la tensión y corriente de entrada, potencia de salida, temperatura de prueba, etc. Es de esperar que el valor de la eficiencia no se mantenga constante cuando el inversor está sometido a imprevistas condiciones de trabajo.

## GENERADOR FOTOVOLTAICO

Con las características de la Tabla 1 se conformo un generador fotovoltaico. Se realizo un arreglo serie-paralelo con cuatro módulos de 50Wp cada uno, se conectaron dos ramas en paralelo y en cada una dos paneles conectados en serie. Se obtuvo con esta configuración el nivel de corriente y tensión necesarios para un correcto funcionamiento del inversor.

La caracterización de los módulos se realizó a una temperatura de 22°C durante toda la experiencia y la radiación se fue incrementando desde 1114 W/m<sup>2</sup> hasta 1144W/m<sup>2</sup>. La curva característica I-V que se obtuvo se presenta en la Figura 1.

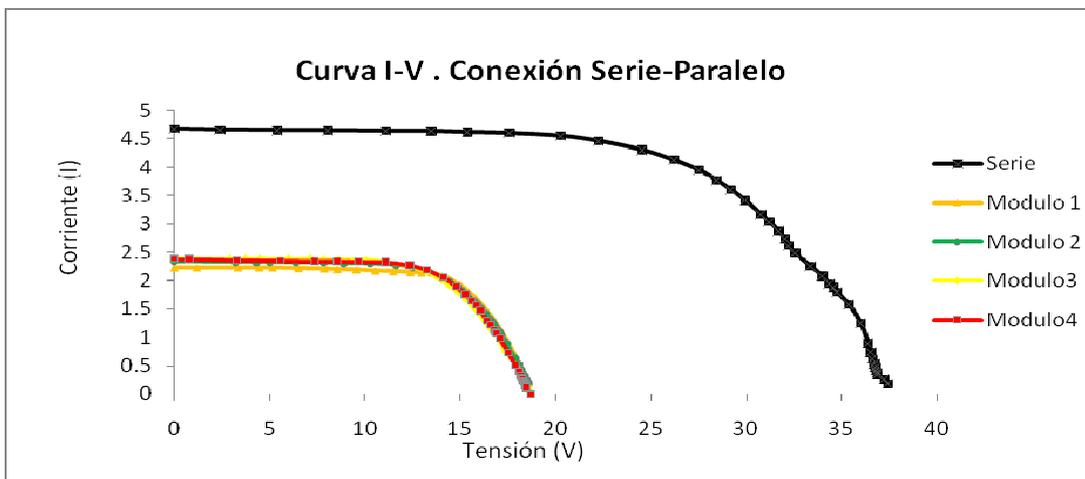


Figura 1: Caracterización de módulos fotovoltaicos. Conexión Serie-Paralelo

## EXPERIENCIAS DESARROLLADAS Y SUS RESULTADOS

### Primera experiencia: Generador fotovoltaico – Inversor - Grupo electrógeno

Se utilizo un grupo electrógeno que entregaba una potencia de 1KVA con una salida de 220V para simular la red eléctrica. Por ser la primera experiencia en este tipo de ensayos y aún contando con las medidas de seguridad correspondientes se tuvo en cuenta la seguridad de la instalación eléctrica del laboratorio. Por lo tanto se tomo la decisión de conectar el inversor a esta red alternativa.

Otra razón fue que el ensayo también cubriría características similares a sistemas de cogeneración eléctrica. Por ejemplo en comunidades aisladas o emplazamientos productivos que tengan un grupo electrógeno alimentado con combustibles fósiles (nafta o gasoil), se les podría asociar un generador fotovoltaico con un inversor conectado a red y con esto disminuir los niveles de contaminación ambiental además de obtener un menor costo de funcionamiento, ya que no habría necesidad de utilizar el mismo volumen de combustible.

Las primeras mediciones se hicieron utilizando un autotransformador Variac (vary AC) en serie con las cargas para disminuir el voltaje que entregaba el grupo electrógeno, porque al conectar cargas que no superaban el 10% de la capacidad que puede entregar este último la tensión de salida ascendía a los 227V. Si bien el inversor puede trabajar con esta tensión nuestra meta era mantener constante la tensión de línea en 220V durante todo el ensayo. Sumado al nivel de potencia reactiva introducido por el Variac, el sistema de control de tensión automático del grupo electrógeno, producía picos de tensión al conectar las cargas; los mismos provocaron la re-inicialización del inversor en varias oportunidades.

Todo esto llevo a desechar de plano este método. La solución encontrada fue conectar una carga resistiva adicional de 700W al grupo electrógeno. La misma lo hizo entrar en régimen y al ir conectando las cargas no se produjeron los picos de tensión. Con la eliminación del Variac y con el grupo electrógeno en régimen se pudo trabajar con una onda seno estable o Clean Power. Es la clase de energía con bajos niveles de emisiones electromagnéticas requerida por las computadoras.

El método de medición utilizado fue el siguiente: se conecto la carga a la línea (grupo electrógeno), se esperó que entrara en régimen estable y se midieron con una pinza amperométrica corriente y tensión. A continuación se conectó el inversor y una

vez que el indicador luminoso señalaba el normal funcionamiento se medía también corriente y tensión. En todos los casos la suma de corrientes medidas era igual a la consumida por la carga (ecuación 1).

$$I_{\text{carga}} = I_{\text{grupo electrógeno}} + I_{\text{inversor}} \quad (1)$$

Donde:

$I_{\text{carga}}$  es la corriente en la línea de carga;

$I_{\text{grupo electrógeno}}$  es la corriente que entrega el grupo electrógeno;

$I_{\text{inversor}}$  es la corriente que entrega el inversor.

El aporte de energía del inversor quedaba establecido con el valor de corriente que entregaba.

Las mediciones realizadas en el inversor fueron a tensión de entrada constante. Al ser el generador fotovoltaico el que provee esta tensión y por ser la misma sensible a la temperatura se monitoreo que no tuviera cambios bruscos.

A la salida del inversor se conectaron en forma sucesiva diferentes cargas resistivas con valores de 25W, 40W, 50W, 65W, 75W, 80W y 95W. Se comenzó con una de menor valor y se fueron incrementando las mismas. La eficiencia se tomó como el cociente entre la potencia de salida en alterna dividida la potencia de entrada en continua, considerando el valor porcentual de la eficiencia para la gráfica. Para el eje de las abscisas se tomó el valor porcentual de la Potencia Nominal de Salida. La curva obtenida se observa en la figura 2.

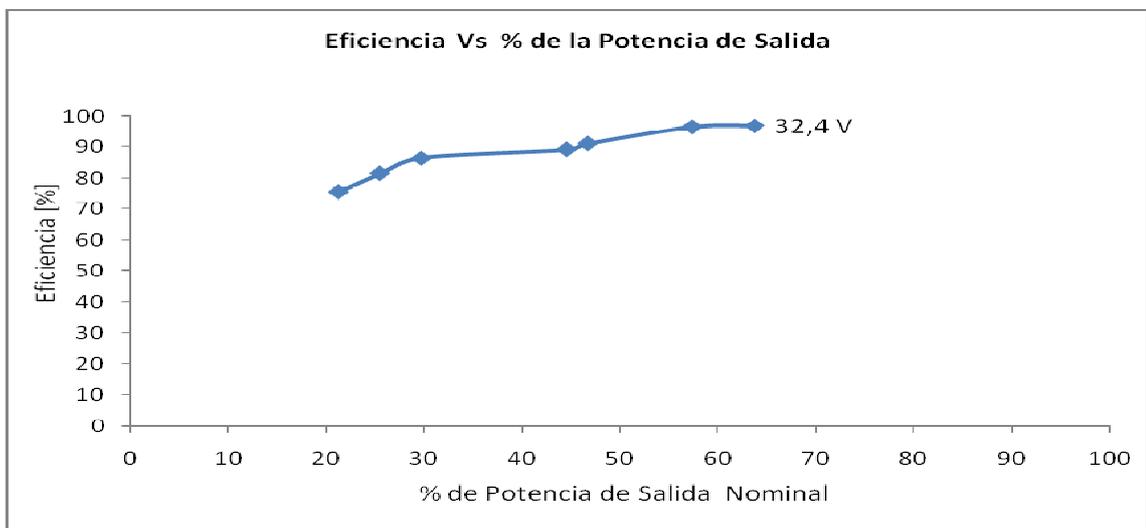


Figura 2: Eficiencia del inversor conectado a grupo electrógeno con tensión de entrada constante de 32.4V

La no linealidad de la curva se debe a que el grupo electrógeno tenía un sistema automático de regulación, que al ir incrementando las cargas se aceleraba elevando la tensión hasta alcanzar un ritmo de marcha estable. Esta situación se debe considerar en sistemas de mayor envergadura.

Segunda experiencia: Fuente de tensión – Inversor – Red eléctrica.

Para la segunda experiencia se simuló el funcionamiento del generador fotovoltaico utilizando una fuente de tensión variable. Se logra con esto cubrir el rango de tensión de entrada del inversor y también que estas tensiones permanezcan constantes durante el ensayo. La ventaja de este método es la de obtener mayor cantidad de datos en menor tiempo.

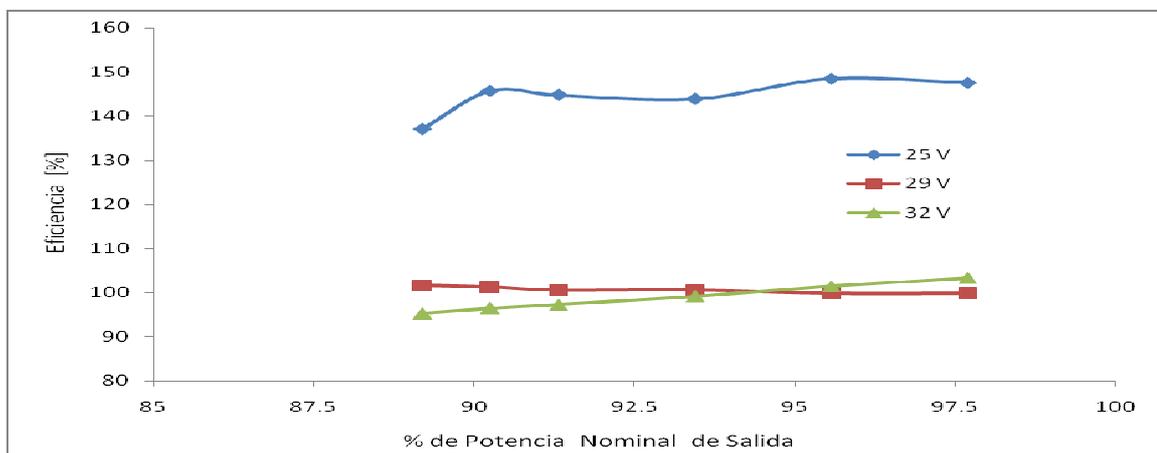


Figura 3: Eficiencia del Inversor conectado a Fuente Tensión. Para distintas tensiones de entrada

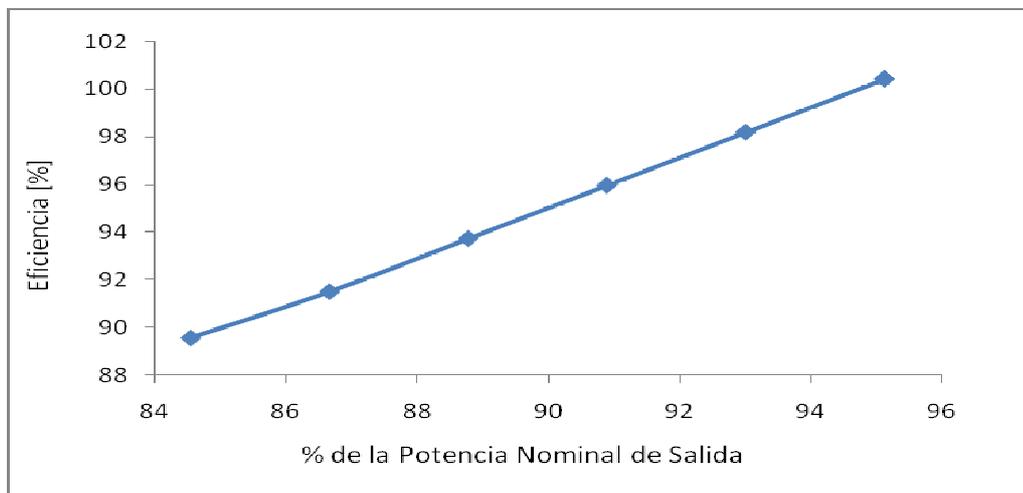
Del análisis de la curva (figura 3) se desprende que para la tensión de entrada de 25V- cercano al límite inferior de funcionamiento- y realizando el cociente entre la potencia de salida en alterna dividida la potencia de entrada en continua, las eficiencias fueron superiores al 100%. Se concluye que el inversor no entrega energía a la carga, verificando esto con la medición de corriente a la salida del mismo que dio un valor de cero amper, según el método establecido en la primera experiencia. Con tensión de entrada de 29V la eficiencia disminuye al aumentar el nivel de carga. Para una tensión de 32V se obtiene un mejor funcionamiento del inversor.

Aún conectando las mismas cargas utilizadas en el caso anterior no se logró cubrir todo el rango de la potencia de salida. La interpretación es que el inversor sólo suministra energía para niveles cercanos a la potencia nominal de salida. Para niveles inferiores la red absorbe la alimentación de las cargas.

En cuanto a la tensión de entrada se puede obtener el rango para los cuales el inversor brinda una mejor prestación. Con esta experiencia se obtiene diferentes valores de eficiencias y además se logra caracterizar este importante parámetro que complementa el diseño del sistema.

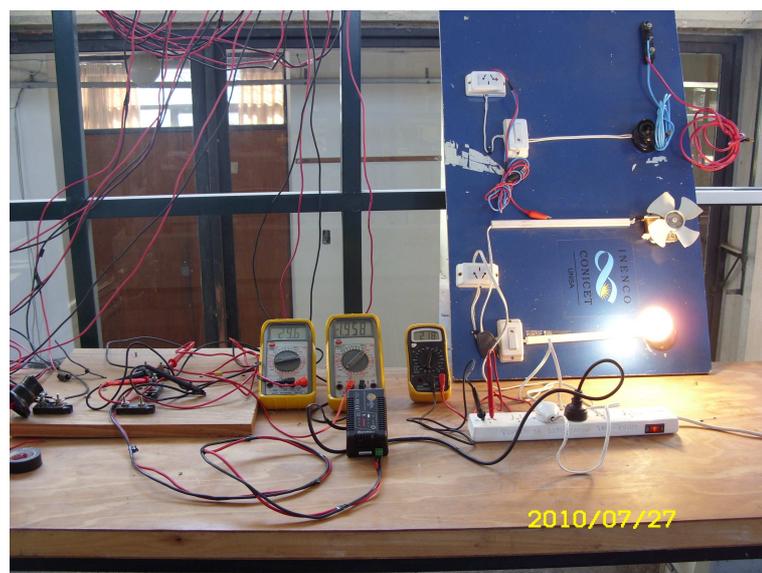
#### *Generador fotovoltaico – Inversor – Red eléctrica*

Como prueba final se conectó la entrada del inversor al generador fotovoltaico y la salida del mismo a la red eléctrica de la Universidad.



*Figura 4: Eficiencia del Inversor conectado a la Red Eléctrica.*

La Figura 4 presenta la eficiencia obtenida en este ensayo. Se puede observar que la curva es una línea recta casi perfecta. Esto se puede atribuir a que la red del campus universitario, como todo centro urbano de importancia, no precisa energía adicional para alimentar las cargas conectadas en esta prueba, el valor máximo fue de 100W para corresponder con la potencia nominal de salida del inversor.



*Figura 5: Dispositivo diseñado para la medida de la eficiencia del inversor.*

## BARRERAS TECNOLÓGICAS

El Proyecto CIUNSa N° 1807 pretende el Análisis, caracterización y desarrollo de Sistemas Fotovoltaicos (FV) conectados a red tendiente diseñar, desarrollar, poner a punto una mini central y a contribuir a su transferencia en el marco de una apropiación local/regional de tal tecnología. Para contribuir a una mejora en la transferencia de tecnología solar se hace necesario indagar aún más en la práctica. En este caso, los obstáculos son estructurales y uno crucial fue la falta de disponibilidad de insumos electrónicos en el país y la falta de financiamiento adecuado para integrar un sistema y comenzar las investigaciones. Fue posible adquirir el pequeño inversor en Brasil para dar comienzo a las mediciones iniciales que aquí se presentan.

## CONCLUSIONES

De los métodos presentados para medir la eficiencia se destaca en el primer ensayo que a medida que la cantidad de cargas conectadas iban en aumento también lo hacía el rendimiento del inversor. Como conclusión adicional se tiene un acercamiento al trabajo asociado entre una mini central conectada a red con los sistemas tradicionales de generación. Se hace necesario prestar especial atención a la característica del grupo electrógeno y profundizar las mediciones con cargas reactivas.

La mayor eficiencia determinada con el segundo ensayo está dada para un valor de tensión de 32V. Se puede además caracterizar al inversor para obtener el rango de tensión de entrada más favorable que aportará en el dimensionamiento del sistema.

La conexión a la red eléctrica se realizó en la última prueba, en la misma se observa que la curva no representa el porcentaje de cargas conectadas, en este caso se concluye que la potencia nominal del inversor no incide en la red eléctrica del laboratorio. Este ensayo se debe repetir en zonas y horarios de mayor demanda para obtener datos más precisos o bien con un inversor de mayor potencia.

También se puede concluir que tomar estos métodos y repetirlos durante la vida útil de la mini central conectada a red, contribuirán en el mantenimiento de la misma.

Las conclusiones técnicas arriba mencionadas han sido un aporte de interés al grupo de investigación que está comenzando a transitar una experiencia concreta de conexión a red. La adquisición del pequeño inversor significó un avance y contribuyó a clarificar los pasos a seguir en la investigación.

**AGRADECIMIENTO:** Los autores agradecen el asesoramiento de la Dra. Elielza Moura de Souza Barbosa, investigadora de la Universidad Federal de Pernambuco. Brasil.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bower W, Whitaker Ch, Erdman W, Behnke M. (2004) "Performance Test Protocol for Evaluating Inverters Used in Grid-Connected Photovoltaic Systems". Sandia National Laboratories Solar Technologies, BEW Engineering, Institute for Sustainable Technology.
- King L, Gonzalez S, Galbraith G, Boyson W. (2007) "Performance Model for Grid-Connected Photovoltaic Inverters". Sandia Report.
- Lorenzo E. (2006) "Electricidad Solar Fotovoltaica" Vol. II "Radiación Solar y Dispositivos Fotovoltaicos". Progensa, primera edición, diciembre, 2006.
- M. T. Montero, H. F. Bárcena, F. R. Farfán, C. A. Cadena. (2007). Evaluación de la resistencia serie y paralelo y su Influencia en la pérdida de potencia en un módulo Con 12 años de exposición. AVERMA Vol. 11. ISSN 0329-5184.
- Montero Larocca M.T., Echazú Ricardo, Cadena C. (2003) Caracterización del EVA de módulos FV por comparación con filtros plásticos. AVERMA 7.
- Montero Larocca y Javi V. (2008). Mediciones Iniciales de una mini central fotovoltaica experimental conectada a red. Presentación Proyecto CIUNSa. N° 1807.
- Moura de S. Barbosa E., Silva D. O. y Melo R. O... Sistema fotovoltaico conectado à rede com baterias sistema UFPE-Brasil. AVERMA. Vol. 11. ISSN 0329-5184.

## INITIAL MEASUREMENTS OF A MINI PHOTOVOLTAIC CENTRAL CONNECTED TO GRID

**ABSTRACT:** This paper reviews the technical basis of a mini Photovoltaic central connected to the electrical grid. There are designed three methods for measuring the efficiency of an inverter connected to the grid. These methods are: 1) photovoltaic generator - Inverter - Generator. 2) Voltage Supply - Inverter - electrical grid 3) Photovoltaic Generator - Inverter - electrical grid. In the first trial the possibility of a joint work of a mini central grid connected with conventional generation systems is highlighted. With the second one test the inverter is characterized. In the last test it is concluded that the nominal power of the inverter does not affects the electrical grid of the laboratory. The progress achieved with these three initial experiences is highlighted, despite the obstacles at the beginning of this research, like the provision of electronic devices for this type of connections in this country, and the available financing; both identified as RE's technological barriers in Argentine.

**Keywords:** mini central connected to the electrical grid, efficiency of the inverter, technological barriers