

OPERACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO: GENERADOR DIESEL EN PARALELO CON UN SISTEMA FV AISLADO UTILIZANDO INVERSORES PARA CONEXIÓN A RED

Manuel Cáceres - e-mail: chiro_frida@yahoo.com.ar

Luis Horacio Vera - e-mail: lh_vera@yahoo.com.ar

Andrés Danilo Firman - e-mail: andresfirman@gmail.com

Arturo Busso - e-mail: ajbusso@gmail.com

⁽¹⁾ Universidad Nacional Del Nordeste, Grupo en Energías Renovables (GER), Av. Libertad n° 5460, Corrientes, 3400, Argentina, Teléfono/Fax: 0054-379-4420076.

André Mocelin - e-mail: mocelin@iee.usp.br

⁽²⁾ Universidade de São Paulo - Instituto de Eletrotécnica e Energia - Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos . Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 – Cidade Universitária – São Paulo – SP – Brasil – CEP 05508-010
Fax: +55 11 3816-7828,

Resumen. En diferentes países de Latinoamérica, en sus regiones marginales, se ha verificado que la calidad de energía eléctrica del sistema de distribución posee características similares a las presentadas en redes inestables o redes rurales. Este hecho ocasiona que los inversores de sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR) se desconecten ya que los parámetros de red (tensión, frecuencia, etc.) se encuentren fuera de los límites de operación de los mismos. Este tipo de cuestiones es uno de los problemas que deben ser evaluados antes de una transición del modelo de sistema energético convencional a un modelo de generación descentralizada a través de fuentes de ER. Este planteo es también válido para el caso de implementación de SFCR en entornos rurales.

Por lo expuesto, en este trabajo se presenta el desarrollo de una red híbrida aislada (fotovoltaica/diesel) operando con inversores para conexión a red con el objetivo de evaluar su adaptabilidad a redes inestables y valorar su comportamiento.

El sistema híbrido planteado posee un arreglo fotovoltaico, inversores de corriente continua/corriente alterna, un grupo electrógeno y una carga resistiva. Con los resultados preliminares obtenidos, se determinó que, bajo ciertas condiciones de operación, y modificando convenientemente los parámetros de operación de los inversores, es posible acoplar en paralelo un sistema FV de características similares a los de conexión a red con un generador diesel. Es necesario continuar con ensayos sistemáticos del sistema desarrollado que permita obtener conclusiones generales en diferentes condiciones de operación, y así determinar la aplicabilidad de inversores de conexión a red.

Palabras-claves: Energía Solar Fotovoltaica, Sistema Híbrido, Inversores CC/CA

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el crecimiento y desarrollo de las energías renovables (ER), y en especial el sector fotovoltaico, han experimentado un gran avance debido a políticas de promoción, (incentivos, subvenciones, extensiones fiscales, primas, etc.), que fueron puestas en marcha para instituir, a corto y mediano plazo, un modelo energético donde el uso de fuentes renovables y la reducción de emisiones de CO₂ sean parte de este nuevo paradigma (REN21, 2012)

Esta situación ha contribuido a reducir los precios, elevar la eficiencia de los componentes, incluso aumentar la capacidad de producción de las tecnologías que utilizan las ER. En el caso particular del sector fotovoltaico (FV) la gran demanda de la generación distribuida, con instalaciones de autoconsumo en sistemas contactados a la red de distribución (IEA-PVPS, 2012), ha creado las condiciones para seguir la tendencia antes mencionada, permitiendo, a su vez, una reducción de costos y mayor disponibilidad no solo de los dispositivos FV, sino también de convertidores CC/CA para conexión a red (inversores).

Otro beneficio directo, derivado del avance tecnológico en el sector fotovoltaico, es la generación de electricidad aislada en zonas rurales, donde la situación de años anteriores, con costos elevados de sistemas FV, ha cambiado y en este nuevo escenario el acceso a energía eléctrica se ha viabilizado a través de sistemas de generación FV frente al avance de las líneas de transmisión (Barbero, 2011).

En este contexto, en los últimos años se ha producido un desarrollo significativo de los llamados sistemas de generación distribuida para complementar la estructura de la red, ya sea a través de sistemas conectados a la red, aislados o híbridos (Barreto e Pinho, 2008). Los sistemas híbridos de generación descentralizada, son cada vez más utilizados como una opción frente a la extensión de la red convencional para comunidades donde se desarrollan actividades productivas (talleres, hilados, piscicultura, etc.). Según Daud (2012), este conjunto permite conseguir un sistema global más eficiente y de mayor autonomía, rentable con menores costes de operación y una calidad de servicio fiable

En este contexto, la extensión de la red eléctrica todavía se considera como la primera opción para la electrificación de áreas sin acceso. Pero, la realidad muestra que, incluso con la llegada de la red, el servicio es de baja calidad, con frecuentes cortes de suministro, mantenimiento deficiente, etc. (Diaz, 2010), y se ha verificado que en diferentes países de Latinoamérica, es las regiones marginales, el comportamiento de la red y calidad de energía del sistema de distribución posee características similares a las presentadas en redes inestables, rurales o a las que se presentan por las condiciones impuestas por un generador diesel. Este hecho ocasiona que los inversores de SFCR se desconecten ya que los parámetros de red (tensión, frecuencia, etc.), en determinadas circunstancias, se encuentren fuera de los límites de operación de los inversores. Estos problemas que se presentan en redes inestables son sobre los cuales se plantea este trabajo y son los que en este momento de transición de modelos de sistema energético se están confirmando (Cáceres, 2012).

Es por esta razón que en este trabajo se presenta el desarrollo de una red híbrida aislada que permite evaluar su funcionamiento con inversores para conexión a red para determinar su adaptabilidad a redes inestables y, de esta forma, evaluar el comportamiento en función de la carga demandada. Este tipo de sistemas híbridos, sin almacenamiento en baterías, es un concepto original denominado de "energía flexible", estudiado para poblaciones rurales y periurbanas de África (Azoumah y Yamegueu, 2012)

1.1 Antecedentes

Una mini-red híbrida del tipo aislada normalmente se configura a partir de un gestor de redes aisladas que se encarga de direccionar el flujo de energía desde el banco acumulador y desde los sistemas de generación, hacia la carga de CA conectada a la línea, o, cuando la capacidad de generación de estos sistemas supera a la demandada por la carga, hacia el banco de baterías (Fig. 1).

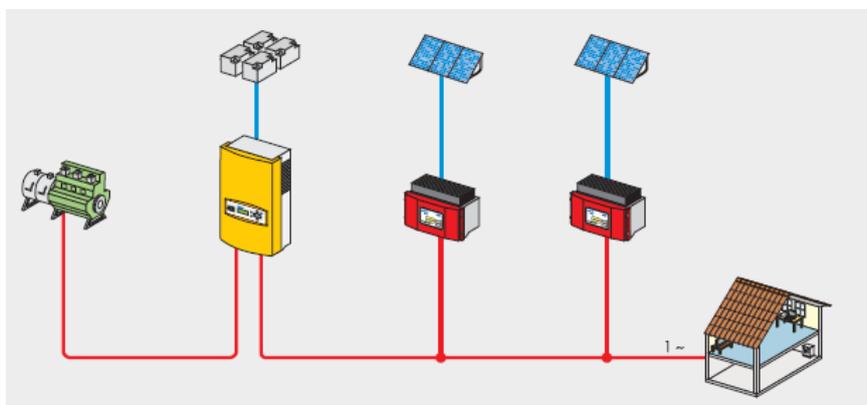


Figura 1. Diagrama esquemático de una mini-red aislada (Fuente: SMA).

En el Laboratorio de Sistemas Fotovoltaicos del Instituto de Eletrotécnica e Energia se ha instalado una mini-red trifásica aislada (127/220 V 60 Hz) configurada a partir de 3 gestores de redes aisladas marca Sunny Island 5048 de 5 kW de potencia nominal, conectados a un tablero Multicluster. Sistema que además posee un sistema fotovoltaico trifásico de aproximadamente 3 kW de potencia pico, con inversores para conexión a red, y un generador diesel trifásico de 7 kVA.

Sobre el sistema descrito se realizaron los primeros ensayos para determinar las condiciones de operación de la mini-red. En el transcurso de los ensayos surgió un inconveniente con la conexión en paralelo del generador diesel. Cuando el sistema de control conectaba el generador diesel, las tensiones de línea en las barras de CA se elevan a valores cercanos a los 260 V. Como estos valores superan los rangos de operación permitidos por los diferentes sistemas las protecciones, tanto de los inversores para conexión a red del SFCR como de los Sunny Island, los mismos actúan y dejan sin alimentación a las cargas conectadas a la mini-red. Situación reportada por otros (Khatib, 2011), que llevo a plantear que el sistema formado por los paneles fotovoltaicos y los inversores para conexión a red (SFA-CR) presentan un grado de incompatibilidad para operar en paralelo con una red creada con el generador diesel (sin sistema de acumulación).

En este contexto y para demostrar si es posible que interactúe el sistema antes ensayado se instaló, estudio y midió el comportamiento de un sistema aislado formado por un SFA-CR trifásico, que fue conectado en paralelo a un generador diesel, y a una carga resistiva trifásica.

El montaje y ensayo del sistema propuesto es presentado en este artículo.

2. METODOLOGIA

Para determinar si es posible la conexión del sistema anteriormente descrito, se realizaron los pasos detallados a seguir:

1. Configurar los generadores fotovoltaicos disponibles para alimentar el SFA-CR.
2. Seleccionar los inversores e implementar la comunicación entre los inversores y el sistema de control que permite modificar los parámetros de operación.
3. Analizar y de ser necesario modificar los parámetros de operación de los inversores para lograr el acoplamiento con el generador diesel.
4. Poner en operación el SFA-CR y realizar ensayos de acoplamiento con el generador diesel.
5. Medir los parámetros de operación del sistema SFA-CR/Generador diesel y realizar la evaluación de resultados

2.1 Sistemas de generación utilizados

Se instaló una mini-red aislada formada por un SFA-CR trifásico de aproximadamente 3 kW en paralelo a un generador diesel de 7 kVA y a una carga resistiva trifásica.

Generadores FV con inversores para conexión a Red: Se implementó un SFA-CR trifásico constituido a partir de tres arreglos fotovoltaicos de diferentes potencias y tecnologías, estos arreglos alimentan tres inversores Sunny boy SWR1100 de 1100 W de potencia nominal. La Fig. 2 presenta un diagrama esquemático del SFA-CR instalado.

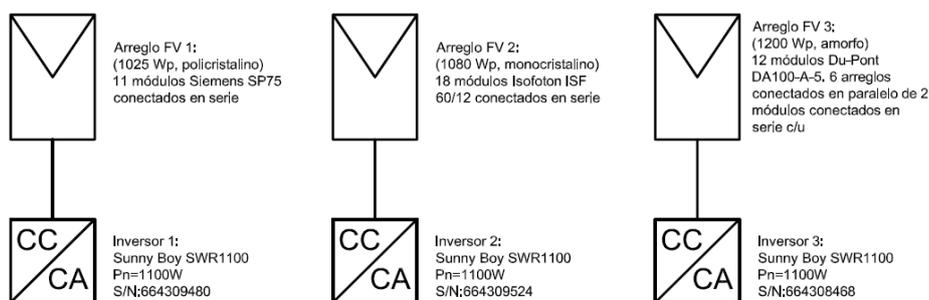


Figura 2. Diagrama esquemático del SFA-CR instalado para los ensayos de acoplamiento con el generador diesel.

La Fig. 3, por su parte, presenta una fotografía de los inversores instalados. En la misma se distingue los tableros de conexión de los generadores FV al inversor, los inversores (Inv 1, Inv 2, e Inv 3) de conexión a red y las llaves de protección y maniobra de CC y de CA.

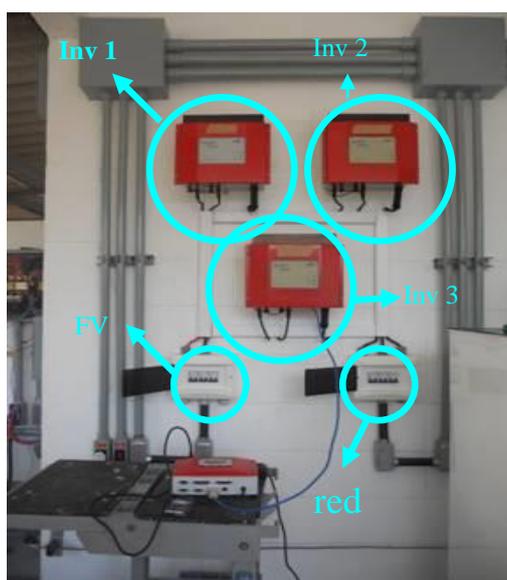


Figura 3. Inversores SWR1100 empleados para implementar el SFA-CR de ensayo y llaves de maniobra y protección.

A los efectos de evaluar la conexión SFA-CR/Generador diesel con diferentes tecnologías fotovoltaicas y de verificar el comportamiento de los inversores con cada una de ellas se alimentó el inversor n° 1 del SFA-CR con un generador FV de 1025 Wp, constituido a partir de módulos de silicio policristalino, el n° 2 con un generador FV de 1080 Wp implementado con módulos de silicio monocristalinos y el n° 3 con un generador de 1200 Wp con módulos de silicio amorfo. Por tanto, la potencia pico del SFCR fue de 3305 Wp. Las características de los arreglos FV se especifican en la Fig. 2.

La Fig. 4a presenta una fotografía del arreglo FV N° 1 (silicio policristalino), la 4b una del arreglo FV N° 2 (silicio monocristalino) y la 4c una fotografía del arreglo FV N° 3 (silicio amorfo).

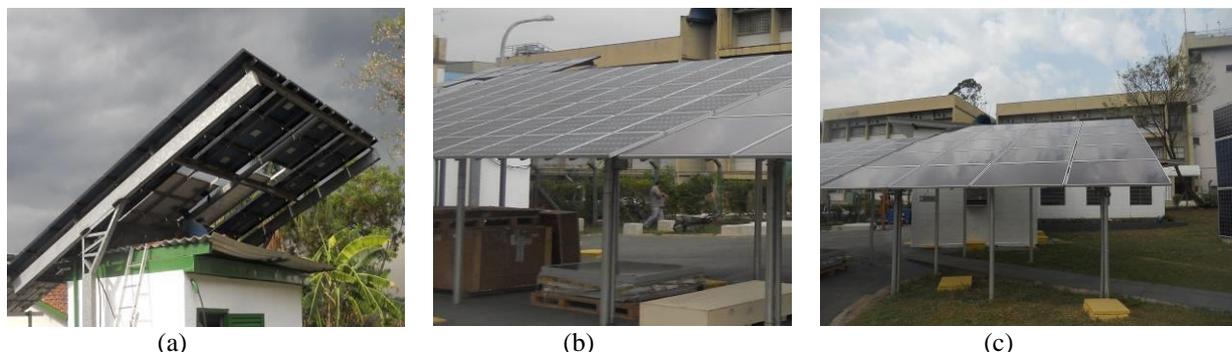


Figura 4. Fotos de los generadores fotovoltaicos empleados en el SFA-CR. (a)Módulos de silicio policristalino. (b)Módulos de silicio monocristalino. (c)Módulos de silicio amorfo.

Configuración de parámetros de operación de inversores Sunny boy SWR1100: Los inversores para sistemas FV, en general, poseen protecciones que evitan que el sistema inyecte energía a la red de distribución cuando la misma presenta cierta distorsión en sus parámetros característicos. Los inversores miden los niveles de amplitud y frecuencia de la tensión de red y, mientras estos se encuentran dentro de cierto rango, inyectan energía.

En muchos inversores, los rangos de operación son limitados y no admiten modificación por parte del usuario. Un ejemplo de esto es el caso del inversor Mastervolt Soladin 600 que posee, para la frecuencia de red, un rango de operación comprendido entre 49,8 Hz y 50,2 Hz y para el caso del valor eficaz de tensión admitida un rango comprendido entre 211 V y 250 V, rangos que lo hacen inadecuados para las fluctuaciones que se experimentan en la red de distribución del Norte Argentino (Cáceres et al, 2011). Sin embargo otros inversores, como es el caso del Sunny boy SWR1100, permiten ampliar las franjas de operación hasta cierto límite. Los parámetros de operación de un sunny boy pueden ser modificados mediante un sistema de control, medición y almacenamiento que provee la firma SMA y que se denomina comercialmente sunny data control plus (SDCP).

Mediante un canal de comunicación adecuado, el SDCP permite leer y modificar los valores que adoptan los rangos de operación admitidos (almacenados en las etapas de control del inversor), así como la posibilidad de adquirir y almacenar los valores que adoptan las variables eléctricas que permiten evaluar las condiciones de operación del SFCR cuando este equipo se encuentra en servicio. Las variables eléctricas medidas son la tensión y corriente de entrada al inversor (provenientes del generador FV), tensión, corriente, frecuencia y potencia de salida (inyectada a la red) y energía producida por el SFCR.

El SDCP admite tres tipos de comunicación con el inversor, por un lado RS485 y RS232 que se implementan a través de un cable auxiliar y comunicación tipo Powerline que utiliza los conductores de alterna para realizar la comunicación mediante onda portadora montada sobre la señal de red. Este último método de comunicación funciona únicamente mientras el inversor permanece conectado a la red y por tanto resulta inadecuada para la modificación de parámetros cuando el inversor se encuentra desconectado.

En cualquiera de los casos, para realizar el enlace mediante alguno de los métodos citados, es necesario realizar modificaciones en el hardware tanto del inversor como del SDCP. Estas modificaciones consisten en montar o retirar algunos resistores dispuestos en las placas de control de los equipos y en instalar las interfaces de comunicación que son circuitos electrónicos provistos por SMA bajo el nombre de Piggy-Back. Estos circuitos poseen todas las etapas de adaptación de las señales para implementar cada uno de los métodos de comunicación.

A causa de que, la señal de tensión provista por el generador diesel presenta elevadas variaciones tanto de amplitud como frecuencia, se decidió modificar los parámetros de operación de los inversores del SFCR para evaluar si, de esta manera, se podían conectar en paralelo. Para modificar los parámetros de funcionamiento de los inversores del SFCR se utilizó comunicación de tipo RS485.

Rango de operación de los inversores: Una vez implementada la comunicación se procedió a modificar los parámetros convenientemente para ampliar los rangos de operación de los inversores y, de esta forma, lograr que el SFA-CR se conecte en paralelo con el generador diesel. La Tab. 1 presenta los valores de cada parámetro antes y después de modificarlos, para cada uno de los inversores (Inversor N°1, N°2 y N°3). Se modificaron las franjas de operación admitidas tanto para tensión como para frecuencia, así como también se modificó la velocidad de variación admitida para estas magnitudes.

Tabla 1. Valores que adoptaron los parámetros de operación de los inversores antes y después de modificarlos.

Magnitud	Inversor N° 1		Inversor N° 2		Inversor N° 3	
	Valor Anterior:	Valor Actual:	Valor Anterior:	Valor Actual:	Valor Anterior:	Valor Actual:
Vac_min:	196 V	180 V	196 V	180 V	196 V	180 V
Vac_max:	253 V	253 V	253 V	253 V	253 V	253 V
Fac_delta-:	0,5 Hz	4,5 Hz	0,5 Hz	4,5 Hz	0,5 Hz	4,5 Hz
Fac_delta+:	0,5 Hz	4,5 Hz	0,5 Hz	4,5 Hz	0,5 Hz	4,5 Hz
dFac_max:	0,25 Hz/s	4 Hz/s	0,25 Hz/s	4 Hz/s	0,25 Hz/s	4 Hz/s
Zac_max:	1700 mΩ	10000 mΩ	20000 mΩ	20000 mΩ	20000 mΩ	20000 mΩ
dZac_max:	350 mΩ/s	800 mΩ/s	2000 mΩ/s	2000 mΩ/s	2000 mΩ/s	2000 mΩ/s

Los valores que limitan las franjas de operación y que se muestran en la tabla anterior son los valores máximos que admite este modelo de inversor.

Generador Diesel: El generador diesel utilizado para los ensayos es de marca Toyama modelo TD7000GE3D-ATS. Este generador trifásico posee una potencia nominal de 7 kVA, con una frecuencia de 60Hz, utiliza combustible diesel y posee regulación automática de tensión (127/220 V).

2.2 Conexión del SFCR en paralelo con el Generador Diesel

La Fig. 5 presenta un diagrama bifilar del circuito eléctrico empleado para los ensayos de conexión del SFCR en paralelo con el Generador Diesel. Para los ensayos se utilizó una carga resistiva trifásica de 1500W dispuesta en conexión triángulo o delta. A su vez, para evitar la utilización de un transformador de acoplamiento tipo triángulo-estrella se acopló el SFA-CR también con conexión delta evitando, de esta forma, la utilización del conductor de neutro del generador. Como se puede apreciar en la Fig. 7, se utilizaron llaves termo-magnéticas en todas las conexiones como elementos de protección y maniobras.

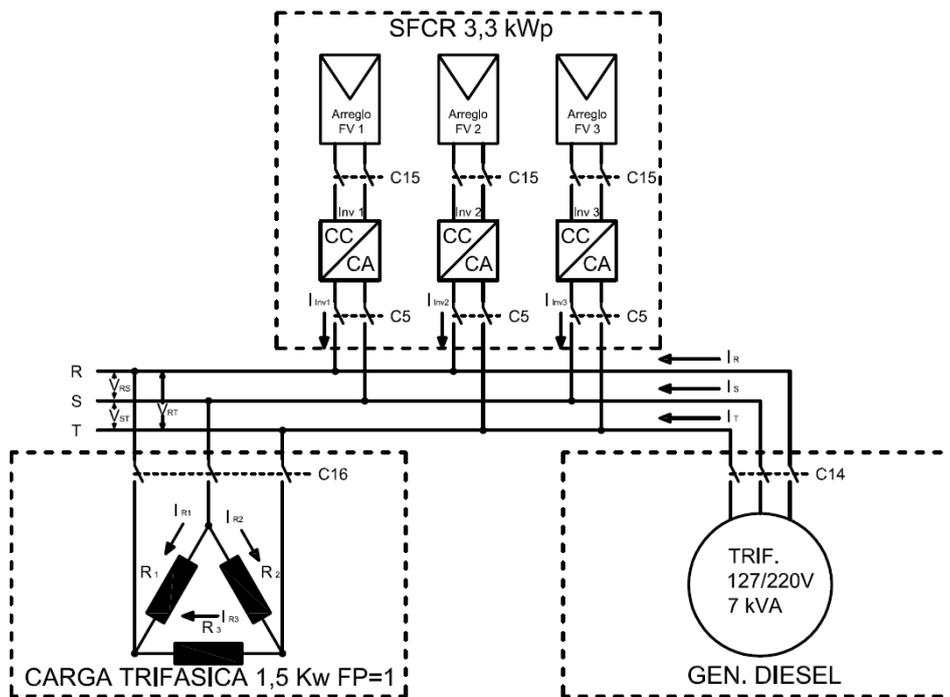


Figura 5. Diagrama trifilar del circuito implementado para los ensayos de acoplamiento entre el SFA-CR y el generador diesel.

En primera instancia, se conectó el generador diesel a la carga y luego se introdujo el SFA-CR para verificar el correcto acoplamiento del sistema en paralelo. Inicialmente, con la carga y el SFA-CR desconectados, se puso en marcha el generador diesel y luego de aguardar unos minutos para que el motor adopte la temperatura de régimen se conectó la carga. Paso seguido, una vez que se estabilizó el sistema, se midieron las corrientes de línea del generador y las corrientes que circulan sobre cada una de las resistencias de la carga utilizando una pinza amperométrica Fluke 337. Por otra parte también se midieron las tensiones entre cada una de las fases con un multímetro Tektronix TEKDM830. Mediante un analizador de redes monofásico marca Fluke 41B conectado a la resistencia que se acopla a las fases R y S del generador, se adquirieron parámetros característicos de la tensión aplicada sobre esta resistencia y de la corriente que circula por la misma.

Luego de adquiridos todos los parámetros citados se procedió a conectar el SFA-CR en paralelo. Para ello, se acoplaron los generadores fotovoltaicos correspondientes a cada inversor, se verificó la comunicación de los inversores con el SDGP, y se acopló el sistema al generador diesel. Una vez que los inversores lograron acoplarse, se repitió la metodología explicada anteriormente para medir nuevamente cada una de las corrientes y tensiones del sistema, agregando a la lista las corrientes suministradas por el SFA-CR.

La metodología citada se repitió para tres valores irradiancias medias diferentes, 720 W/m², 838 W/m² y 915 W/m², con el objetivo de determinar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de generación FV.

La Fig. 6 presenta fotografías de la disposición adoptada para el ensayo. En las cuales se muestran el generador, la carga y los inversores utilizados en el SFA-CR.

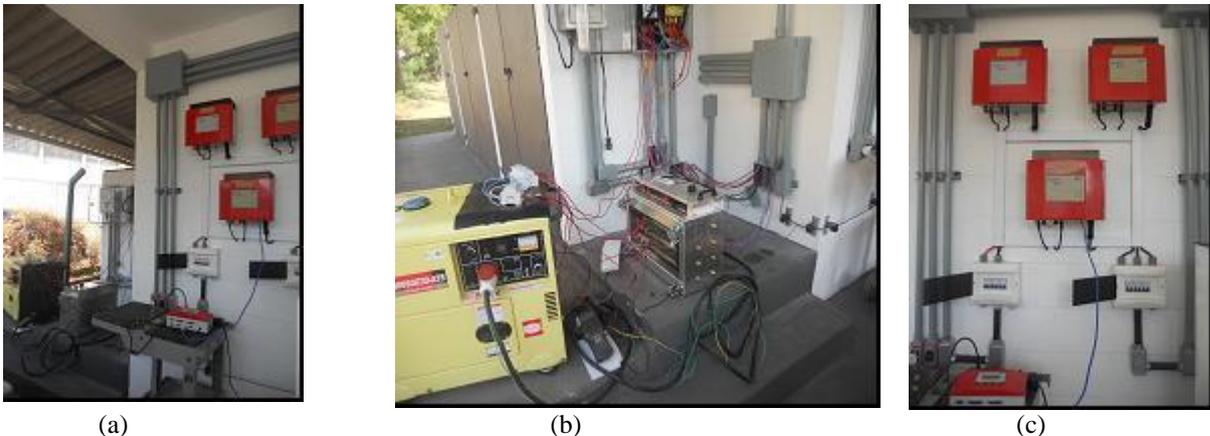


Figura 6. Disposición adoptada durante los ensayos para los diferentes sistemas. (a) Vista general de los sistemas en ensayo. (b) Generador diesel junto a la carga de 1,5 kW. (c) SFA-CR trifásico de 3,3 kWp.

3 RESULTADOS

La Tab. 2 muestra los valores que adoptan cada uno de estos parámetros para diferentes condiciones de irradiancia, antes y después de conectar el SFCR en paralelo con el generador. Las corrientes y tensiones involucradas en el circuito, con su correspondiente designación se presentan en la Fig. 10. Para la diferentes valores de irradiancia puede observarse que, mientras el generador permanece conectado a la carga únicamente, el sistema está equilibrado sin un desplazamiento apreciable en el neutro, sin embargo, cuando se acopla el SFA-CR se produce un desequilibrio en el sistema dando lugar a una variación en las tensiones de línea, los valores eficaces de VRS y VRT aumentan y el valor eficaz de VST disminuye. Este desequilibrio puede ser asociado a diferencias en el comportamiento del sistema de control de los inversores con diferentes tecnologías de módulos FV.

Por otra parte, la Tab. 3 presenta los valores de potencia aparente en cada fase, entregada por el SFA-CR, por el Generador, y la absorbida por la carga. Cuando el generador se encuentra conectado a la carga y el SFA-CR se encuentra fuera de servicio toda la potencia generada es consumida como potencia activa por la carga. Sin embargo cuando se acopla el SFA-CR aparecen potencias reactivas.

A medida que aumenta la irradiancia, la potencia activa entregada por el SFA-CR aumenta, hasta que se iguala a la demandada por la carga, a partir de ese instante, el control de seguimiento de punto de máxima potencia de los inversores polariza los arreglos FV fuera del punto de máxima potencia, hacia el punto de tensión de circuito abierto, a los efectos de disminuir la potencia inyectada. Este efecto se produce debido a que, como el generador diesel posee un control de tensión que modula la inyección de corriente en la excitación, y, que a medida que aumenta la potencia inyectada por el SFA-CR dicho control debe disminuir la corriente de excitación, el generador presenta su propia impedancia de acoplamiento como carga del sistema interconectado.

De esta manera, la potencia aparente medida sobre las fases del generador diesel (o la inyectada por este) representa la energía reactiva que permanece circulando entre la impedancia de acoplamiento del generador y la impedancia de acoplamiento de los inversores.

Tabla 2. Valores que adoptan las corrientes y tensiones para el generador diesel conectado a la carga y para el generador diesel conectado a la carga y al SFA-CR, para tres condiciones de irradiancia diferentes

	Irradiancia = 720 W/m2		Irradiancia = 838 W/m2		Irradiancia = 912 W/m2	
	GEN-Carga	GEN-SFCR-Carga	GEN-Carga	GEN-SFCR-Carga	GEN-Carga	GEN-SFCR-Carga
VRS:	215,5 V	219,8 V	215,2 V	219,6 V	215,6 V	219,0 V
VST:	216,1V	206,6 V	214,5 V	204,8 V	214,6 V	204,3 V
VRT:	218,3 V	220,7 V	216,4 V	217,2 V	217,1 V	216,9 V
IR:	3,7 A	0,9 A	3,8 A	1,2 A	3,6 A	1,1 A
IS:	3,5 A	1,2 A	3,6 A	0,9 A	3,6 A	0,9 A
IT:	3,7 A	1,1 A	3,7 A	1,5 A	3,6 A	1,6 A
IR1:	2,0 A	2,1 A	2,1 A	2,2 A	2,1 A	2,1 A
IR2:	2,2 A	2,0 A	2,2 A	2,0 A	2,1 A	2,0 A
IR3:	2,0 A	2,1 A	2,0 A	2,1 A	2,0 A	2,1 A
IINV1:	-	1,7 A	-	1,8 A	-	1,8 A
IINV2:	-	3,0 A	-	3,4 A	-	3,4 A
IINV3:	-	1,3 A	-	1,5 A	-	1,5 A

Otro hecho interesante es que las potencias suministradas por los inversores difieren entre ellas, como se explicó, este desequilibrio puede ser asociado a la respuesta de los inversores a diferentes curvas I-V de los arreglos FV de diferentes tecnologías. En la Tab. 4 puede observarse el fenómeno mencionado ya que aumentos del orden del 14% y 9% en los valores de irradiancia no producen el correspondiente aumento de energía inyectada por los arreglos FV.

Tabla 3. Valores que adoptan las potencias aparentes entregadas por el generador diesel y por el SFA-CR a la carga, en cada una de las fases, para tres condiciones de irradiancia diferentes.

	Irradiancia = 720 W/m2		Irradiancia = 838 W/m2		Irradiancia = 912 W/m2	
	GEN-Carga	GEN-SFCR-Carga	GEN-Carga	GEN-SFCR-Carga	GEN-Carga	GEN-SFCR-Carga
SR:	460 VA	114,2 VA	472,1 VA	152,1 VA	448,1 VA	139,1 VA
SS:	437 VA	143,1 VA	445,8 VA	106,4 VA	446 VA	106,1 VA
ST:	467 VA	140,2 VA	462,3 VA	188,1 VA	451,2 VA	200,4 VA
SR1:	431 VA	461,6 VA	451,9 VA	483,1 VA	452,8 VA	460 VA
SR2:	476 VA	413,2 VA	471,9 VA	409,6 VA	450,7 VA	408,6 VA
SR3:	436,6 VA	463,5 VA	432,8 VA	456,1 VA	434,2 VA	461,6 VA
SINV1:	-	373,7 VA	-	395,3 VA	-	394,2 VA
SINV2:	-	662,1 VA	-	738,5 VA	-	737,5 VA
SINV3:	-	268,6 VA	-	307,2 VA	-	306,4 VA

La Tab. 4 presenta los valores de potencia aparente trifásica de cada sistema.

Tabla 4. Valores que adoptan las potencias aparentes trifásicas entregadas por el generador diesel y por el SFA-CR a la carga para tres condiciones de irradiancia diferentes.

	Irradiancia = 720 W/m2		Irradiancia = 838 W/m2		Irradiancia = 912 W/m2	
	GEN-Carga	GEN-SFCR-Carga	GEN-Carga	GEN-SFCR-Carga	GEN-Carga	GEN-SFCR-Carga
SG:	1364 VA	397,5 VA	1380,2 VA	446,6 VA	1345,3 VA	445,6 VA
SR:	1343,6 VA	1338,3 VA	1356,6 VA	1348,8 VA	1337,7 VA	1330 VA
SFV:	-	1304,4 VA	-	1441 VA	-	1438,1 VA

Entre tanto, la variación que la distorsión armónica total de las señales de corriente y tensión cuando se conecta el SFA-CR. Con la carga acoplada únicamente al generador diesel, la THDi y la THDv adoptan un valor igual al 3,1 %; cuando se acopla el SFCR ambas magnitudes aumentan al 11,2 %. Este aumento se debe a las características alineales que presenta el fenómeno de ondulación desarrollado por los inversores.

4 CONCLUSIONES

Se conectó con éxito un generador diesel trifásico de 7 kVA en paralelo con una carga resistiva de 1,5 kW y un SFA-CR trifásico de 3,3 kWp. El sistema interconectado presenta un elevado desequilibrio en la potencia inyectada que puede ser asociado al hecho de que los inversores poseen un comportamiento distinto para diferentes tecnologías de módulos FV.

Cuando la capacidad de generación de energía del SFCR supera a la demandada por la carga, los inversores desvían el punto de polarización de los arreglos FV fuera del punto de máxima potencia, hacia la tensión de circuito abierto, con el objeto de abastecer únicamente a la carga con potencia activa. Por otra parte, en estas condiciones, el generador diesel continúa inyectando energía reactiva asociada a las impedancias de acoplamiento de los sistemas generadores.

La distorsión armónica total de las señales de tensión y corriente, en el sistema, aumentan de 3,1 % a 11,2 % cuando se acopla el SFCR.

Con los resultados preliminares obtenidos se plantea el hecho de que bajo ciertas condiciones, y modificando convenientemente los parámetros de operación de los inversores, es posible acoplar en paralelo un SFCR con un generador diesel. Es necesario continuar con ensayos sistemáticos del sistema desarrollado que permita obtener conclusiones generales en diferentes condiciones de operación, y así determinar la aplicabilidad de inversores de conexión a red para que también puedan ser utilizados para sistemas aislados

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), Argentina, para proporcionar ayuda financiera prestada al proyecto de investigación: PICT 0300/2008. Los autores también desean agradecer el apoyo económico del Ministerio de Ciencia y Técnica a través del proyecto de investigación binacional CAPES-MINCYT BR11 Red07 y del FONARSEC a través del proyecto de investigación FITS- Energía 008/2010.

REFERÊNCIAS

- Azoumah, Y., Yamegueu, D., 2012. Sustainable electricity generation by solar pv/diesel hybrid system without storage for off grids areas. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol. 29, No. 1, p. 012012. IOP Publishing.
- Barbero José, 2011. La Infraestructura en el Desarrollo Integral de America Latina: Diagnóstico Estratégico y Propuestas para una Agenda Prioritaria. CAF. Paraguay: XXI Cumbre Iberoamericana.
- Barreto E, Pinho J, 2008. Sistemas híbridos: soluções energéticas para a Amazônia. Ministerio de Minas e Energia.
- Cáceres M, Busso A, Cadena C, Vera L., 2011. Determinación de la Eficiencia de Conversión del Inversor Empleado en un Sistema de Generación Fotovoltaica Conectado a Red Instalado en el Nordeste Argentino. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 15, pp. 17-24. 2011.
- Cáceres M, Busso A, Cadena C, Vera L., 2012. Sistemas Fotovoltaicos Conectados A Red: Estabilidad De Los Parámetros De La Red Y Sus Efectos En La Capacidad De Generación. IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferencia Latino-Americana da ISES.
- Daud, A-K, Ismail M.S., 2012. Design of isolated hybrid systems minimizing costs and pollutant emissions. Renewable Energy Vol. 44, No. ,pp. 215-224.
- Díaz P y Peña R, 2010. Estudio De Campo De La Generación Híbrida Diesel/Renovable Para Electrificación Rural. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), 1 -5.11 Cusco,Perú.
- IEA-PVPS. 2012. Trends in Photovoltaic Applications: Survey Report of Select IEA Countrys between 1992 and 2011. 2012.
- Khatib, T., A. Mohamed, K. Sopian and M. Mahmoud, 2011. Optimal sizing of building integrated hybrid PV/diesel generator system for zero load rejection for Malaysia. Energy and Buildings Vol. 43, No.12, pp. 3430–3435.
- REN21 -Renewable Energy Policy Network for the 21st Century- 2012. Renewables 2011 Global Status Report.

OPERATION OF A HYBRID SYSTEM: DIESEL GENERATOR IN PARALLEL WITH A PV STAND ALONE SYSTEM USING AN NETWORK INVERTER CONNECTION

Abstract. *Several Latin American countries , in their marginal regions , it has been verified that the power quality of the distribution present unstable networks or rural networking features. This causes disconnect of inverter of PV systems because the network parameters (voltage , frequency, etc.) are outside the limits of operation thereof. This type of situation is one of the problems that must be evaluated before a transition from conventional energy system model to a model of decentralized generation through RE sources. This position is also valid for the case of implementation of GPVS in rural environments. For these reasons, in this paper is presented the development of a hybrid stand alone system (photovoltaic / diesel) in order to assess grid tied inverters and their suitability for work in unstable networks . The proposed hybrid system has a photovoltaic array , inverters DC / AC current, a generator and a resistive load. With preliminary results, it was determined that under certain operating conditions, changing the operating parameters of the inverters, it is possible to couple a parallel SFGR with a diesel generator. It is necessary to continue the systematic testing system developed to allow general conclusions on different operating conditions and determine the applicability of grid connected inverters .*

Key words: *Solar Photovoltaic Energy, Hybrid System, DC/AC Inverter.*