

EQUIPAMIENTO DE ADQUISICION DE DATOS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTONOMOS INSTALADOS EN ESCUELAS DE CORRIENTES

Christophe J. J. Bello¹,

¹Grupo en Energías Renovables (GER)
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura (FaCENA)
Av. Libertad 5470, 3400 Corrientes, Argentina
e-mail: cjjbello@gmail.com

Manuel Cáceres¹, Luis H. Vera¹, Carlos Cadena², Arturo J. Busso¹

Resumen — En los sistemas de generación fotovoltaica instalados por el PERMER en la provincia de Corrientes se verificó una prematura pérdida de capacidad de generación y acumulación. Esta situación condujo al diseño y desarrollo de un sistema autónomo de adquisición de datos (SAD) que registra la mayor cantidad de parámetros, con suficiente resolución y frecuencia para el estudio detallado de la evolución del comportamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos (SFA). El adquisidor desarrollado consta de 20 canales para medir corriente continua, corriente alterna, tensión de corriente continua, tensión de corriente alterna, temperatura e irradiancia. La conversión analógico-digital con comunicación de datos se realiza a través de una unidad de control de 16 bits. Para este sistema se ha desarrollado un software que controla el multiplexado de los canales de entrada, midiendo en intervalos de 60 seg. Medidas realizadas en un SFA experimental permitió validar el funcionamiento del SAD desarrollado, y se determinaron las características del regulador de carga y del inversor. Posteriormente se instalará el SAD en una escuela rural, completando el estudio en situaciones reales de uso.

Palabras claves: Energía solar, generación distribuida, generación fotovoltaica,.

INTRODUCCIÓN

En Argentina, el uso de las energías renovables aplicadas a comunidades rurales creció significativamente en los últimos años. Entre los diferentes tipos de sistemas para la electrificación rural, la tecnología fotovoltaica se ha posicionado como una opción destacada. Los sistemas instalados son generalmente de tipo fotovoltaicos autónomos (SFA), constituidos por un panel fotovoltaico (conjunto de módulos), un acumulador

² Carlos Cadena, INENCO CONICET UNSa, cadena@inenco.net.

(banco de baterías), una electrónica de control (regulador de carga), y a veces por un conversor CC/CA (inversor).

La particularidad de los SFA reside en que sus instalaciones se realizan en lugares aislados, donde representan la única fuente de energía eléctrica. Por lo tanto, la perduración a largo plazo y el correcto funcionamiento de estos sistemas es indispensable. De lo expuesto, resulta primordial para el buen funcionamiento y sustentabilidad de los SFA, determinar la demanda energética a la que son sometidos, la capacidad de generación, de almacenamiento y registrar los eventos que puedan ocasionar funcionamientos anómalos o lleven a la falla del sistema.

La solución técnica presentada en este trabajo se basa en el desarrollo de un equipamiento de adquisición de datos especialmente proyectado para trabajar en SFA, el cual registra y guarda los datos medidos, además de realizar un tratamiento estadístico de los mismos. Los resultados medidos en el lugar de operación permitirán evaluar el comportamiento real y determinar potenciales mecanismos de fallas de estos sistemas.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTONOMOS EN PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

En el año 1999 nace el Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales (PERMER), principal programa nacional argentino de electrificación rural descentralizada, cuyo objetivo es ofrecer el acceso a la energía eléctrica a escuelas, centros comunitarios, puestos sanitarios y viviendas en zonas muy aisladas. En el año 2008 el PERMER instaló 85 sistemas fotovoltaicos en escuelas de la provincia de Corrientes [1], a nivel país ya ubicó 1350 SFA en escuelas y más de 4 300 SFA para viviendas familiares [2], con un total aproximado de 1 MWp instalado [3]. A estos últimos datos se les debe sumar las de instalaciones realizadas a través de iniciativas privadas o de otros programas de electrificación rural. De esta forma, se estima que 7 000 hogares familiares recibían electricidad vía generación fotovoltaica [4].

Si bien los SFA no representan un porcentaje significativo en la potencia total generada a nivel del país (representando en el año 2006 un 0,02% de la energía generada con fuentes renovables de energías [5]), tienen su importancia respecto a la proporción de la población que no dispone de un servicio convencional de energía eléctrica. Dentro de este contexto, actualmente, unas 70 000 familias no cuentan con acceso a la energía eléctrica [6]. Esta situación trata de ser revertida a través de

proyectos gubernamentales como los llevados a cabo en la orbita del PERMER que prevé instalar a corto plazo 15690 nuevos SFA en 12 provincias del país, lo que representa una potencia de 1,9 GWp [7, 8]. Sin embargo, muchos proyectos en el sector fracasan por no tener en cuenta los principios básicos de confiabilidad, capacidad de mantenimiento, disponibilidad y seguridad [9]. Esta situación lleva a que en SFA instalados en zonas aisladas los equipamientos no cumplan con los años de vida previstos.

En el caso particular de las 85 escuelas rurales de la provincia de Corrientes (Figura A1 – Anexo 1), con casi dos años de funcionamiento en la fecha, ya han sido detectados diversos problemas técnicos que dejaron sin energía a los usuarios [1]. Además, en estas instalaciones, se verificó una prematura pérdida de capacidad de generación y acumulación, posiblemente asociada a un exceso de consumo, un uso inadecuado, un dimensionado errado o un funcionamiento incorrecto de determinados elementos del sistema.

Para evaluar correctamente cuales son los factores que producen esta disminución de eficiencia en los SFA de Corrientes, son necesarios datos de monitoreo a lo largo del tiempo para visualizar el patrón de consumo y el funcionamiento de los diferentes elementos (en ciclos diarios, semanales, y anuales). Es importante señalar que a nivel nacional existen pocos trabajos que presenten resultados técnicos del comportamiento de SFA bajo condiciones reales de operación. Por lo tanto, la ingeniería fotovoltaica nacional no dispone de herramientas de análisis de operación de sistemas autónomos desde el punto de vista de su confiabilidad a largo plazo [9].

Es en el ámbito del estudio de la confiabilidad de los SFA instalados en las escuelas de Corrientes que el GER propuso desarrolló un sistema completo de adquisición de datos, adaptado a las características de los sistemas presentes en la provincia. En sus especificaciones, los SFA a monitorear tienen potencias que van desde 400 hasta 1500Wp (53% con 600Wp). Las instalaciones con potencias mayores a 800Wp cuentan con dos reguladores de carga (22% de los casos), y dos inversores (64% de los SFA). Por lo tanto, la cantidad de parámetros a medir cambiará según una configuración, la cual evoluciona con la potencia instalada. Los parámetros eléctricos a considerar para cada SFA son: 2 tensiones y 2 corrientes CC, más una tensión y una corriente CA (SFA de 600 Wp presentado en la Figura 1), 5 corrientes y tensiones CC y 2 corrientes y

tensiones CA. Esta última configuración es adoptada por los sistemas de potencias superiores a 600 Wp (Figura 2).

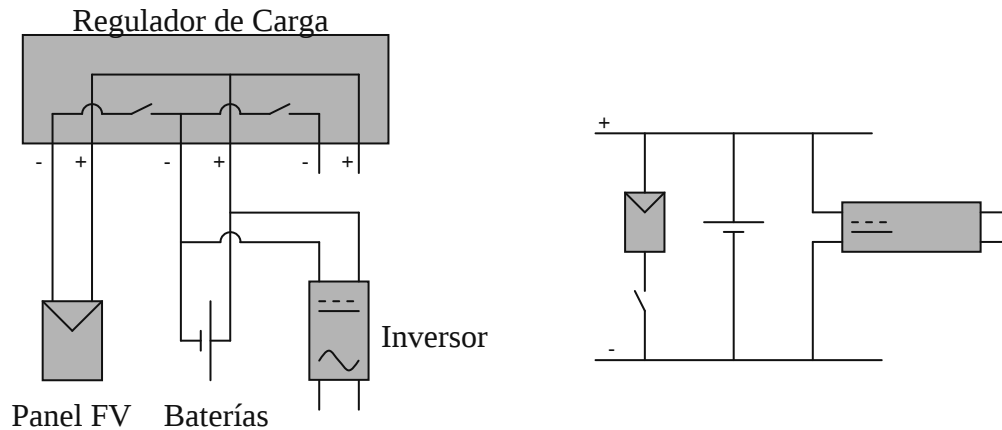


FIGURA. 1
ESQUEMA ELÉCTRICO DEL CABLEADO DE UN SFA DE 600 Wp

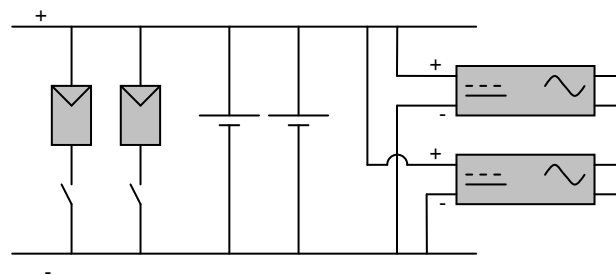


FIGURA. 2
Circuito eléctrico equivalente de un SFA con una potencia superior a 600 Wp

Otros de los factores que se tomaron en cuenta a la hora de proyectar el SAD son las difíciles condiciones de operación que caracterizan los SFA, las que hacen más exigentes las especificaciones para un sistema de monitoreo debido a la falta de accesibilidad. Esto implica una gran autonomía y robustez del adquisidor, siendo inadecuado el uso de instrumentos clásicos de laboratorio.

DESARROLLO DEL EQUIPAMIENTO PARA ADQUISICIÓN DE DATOS

Los SFA instalados son considerados como un sistema interactuando con un entorno complejo, ya que los primeros diagnósticos de fallas en las instalaciones de la provincia

se determinaron diferentes motivos causantes de problemas, tanto a nivel tecnológico, humano y climatológico (temperaturas sumamente altas en verano). Por lo expuesto, para caracterizar el funcionamiento de cada uno de los elementos del sistema en diferentes condiciones, se debe medir también la temperatura en algunos puntos estratégicos y la radiación solar incidente sobre el panel fotovoltaico. La Tabla A1 presentada en el Anexo 1 indica los canales de medición necesarios y el rango correspondiente.

Para el sistema de registro de datos medidos se necesita un dispositivo que sea capaz de adaptar la señal de salida de algunos sensores y que sea económico, para, de esta forma, facilitar la duplicación del sistema de adquisición y permitir el monitoreo de varios SFA. Por consiguiente, se seleccionó para la conversión analógico-digital una unidad de control 16 bits de bajo costo y disponible en el mercado local (modelo RIAC-QF, de microAXIAL).

La medición de intensidad de corrientes se realiza a través de *shunts* de baja resistencia y transformadores (TC). El *shunt* de corriente de baja resistencia es una solución de más bajo costo que ofrece una lectura en tensión con una excelente precisión. Por lo tanto, la medición de corrientes continuas altas se realiza a través de *shunts* de manganina fabricados por el GER y posteriormente calibrados. Las corrientes alternas se miden con transformadores de corriente, cada transformador asociado a una resistencia comercial de alta precisión.

En la Figura 3, se presenta un esquema de conexión entre los diferentes elementos del adquisidor desarrollado. Las 3 entradas analógicas de la unidad de control cuentan, cada una, con un multiplexor de 8 canales, la primera entrada se destina para la medición de corrientes, el segundo para la medición de tensiones y el tercero para la medición de temperatura. Según el tipo de señal de entrada y su rango de trabajo, se implementó una electrónica para lograr que las señales medidas se encuentren siempre en una zona lineal de amplificación, de forma a optimizar la conversión analógico/digital. La medición de radiación solar se realiza a través de un piranómetro que entrega un valor de tensión de orden similar a los valores medidos sobre los *shunts* que se utilizan. En consecuencia, la medición de radiación solar se asocia a un canal de medición de corriente con las mismas etapas de amplificación. Además, la actuación de los tres multiplexores para medir 20 canales a cada minuto, se realiza a través de un

programa escrito en el lenguaje Visual Basic, el cual registra el promedio de estos valores cada 10 minutos.

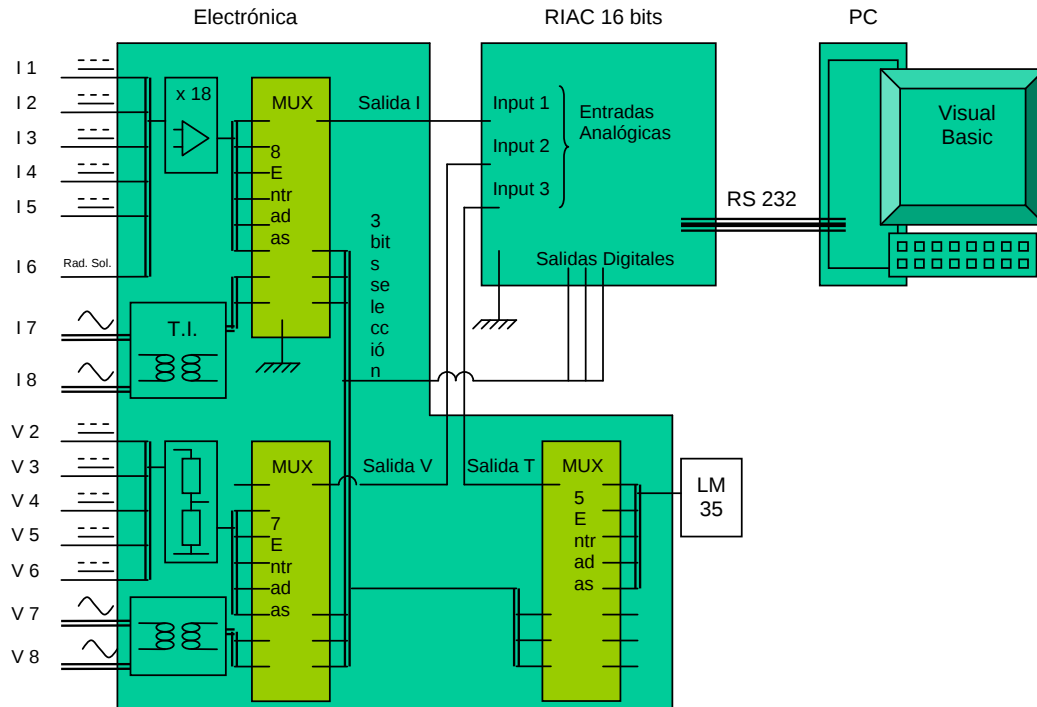


FIGURA 3

ESQUEMA DEL ADQUISIDOR DE DATOS DESARROLLADO

RESULTADOS MEDIDOS

Para la calibración y validación del adquisidor desarrollado (Figura 4a), se instaló en la terraza de la Facultad de Ciencias Exactas, en el campus universitario de la UNNE, un SFA con características similares a los que se encuentra en las escuelas (Figura 4b). La calibración individual de cada canal se realizó con instrumentos de laboratorio de precisión, lo que permitió determinar las ecuaciones de corrección a aplicar a los valores leídos y, de tal manera, registrar los datos con formatos adecuados. Con el ajuste de las ecuaciones para cada canal de lectura se llegaron a elevados valores de correlación lineal (R^2 mayor a 0,99).

A través de un análisis de errores se pudo determinar que las incertezas asociadas a los valores medidos de corriente continua son del orden de 0,5 A y de 0,05 A para valores de corriente alterna. Analizando los canales que miden tensión en forma directa

se determinó una incerteza del orden de 0,01 V para señal continua y de 0,1 V para alterna.

Un monitoreo del sistema fotovoltaico experimental, simulando un perfil nocturno de consumo, fue realizado durante un mes. Los resultados obtenidos permitieron determinar el buen funcionamiento del sistema de adquisición y caracterizar el SFA en condiciones de operación. Así también, se verificó la interacción entre las grandezas medidas y como la resolución de los canales y el ruido eléctrico del entorno afectan a los resultados medidos.



(a)



(b)

FIGURA. 4

a) FOTO DEL ADQUISIDOR DESARROLLADO CON SU ELECTRÓNICA ASOCIADA, b) ARREGLO FOTOVOLTAICO UTILIZADO PARA LA VALIDACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SAD.

La Figura 5 presenta los resultados de 24 horas de monitoreo utilizando el SAD desarrollado. Las curvas superiores corresponden a las tensiones medidas en bornes del panel fotovoltaico (FV) y en bornes del banco de baterías. Durante las primeras horas graficadas, que corresponden a un periodo nocturno, se observa que la tensión y corriente del panel FV es muy próxima a cero (no existe generación FV). En este mismo período, una carga constante de 40W genera una demanda de corriente de igual magnitud a la corriente de descarga del banco de baterías. A medida que pasan las horas y continúa la demanda energética, la tensión del banco de baterías disminuye levemente debido a la descarga de los acumuladores.

Al empezar el día (existe incidencia de radiación solar sobre el sistema de generación FV), se observa que la tensión del panel FV se ajusta a la tensión del banco

de baterías, caracterizando el rol del regulador de carga que cierra el circuito y habilita la recarga de los acumuladores. Los datos registrados permiten también observar la corriente generada por el panel FV y a posteriori su relación con la radiación solar medida de forma simultánea. Para evitar una sobre carga de las baterías el regulador de carga abre el circuito al llegar a una tensión predefinida, acción que se produce cuando la tensión del panel alcanza un valor cercano a la tensión de circuito abierto (aproximadamente 40 V). En esta circunstancia, existe una mínima circulación de corriente hacia las baterías para mantenerlas en una tensión de flote.

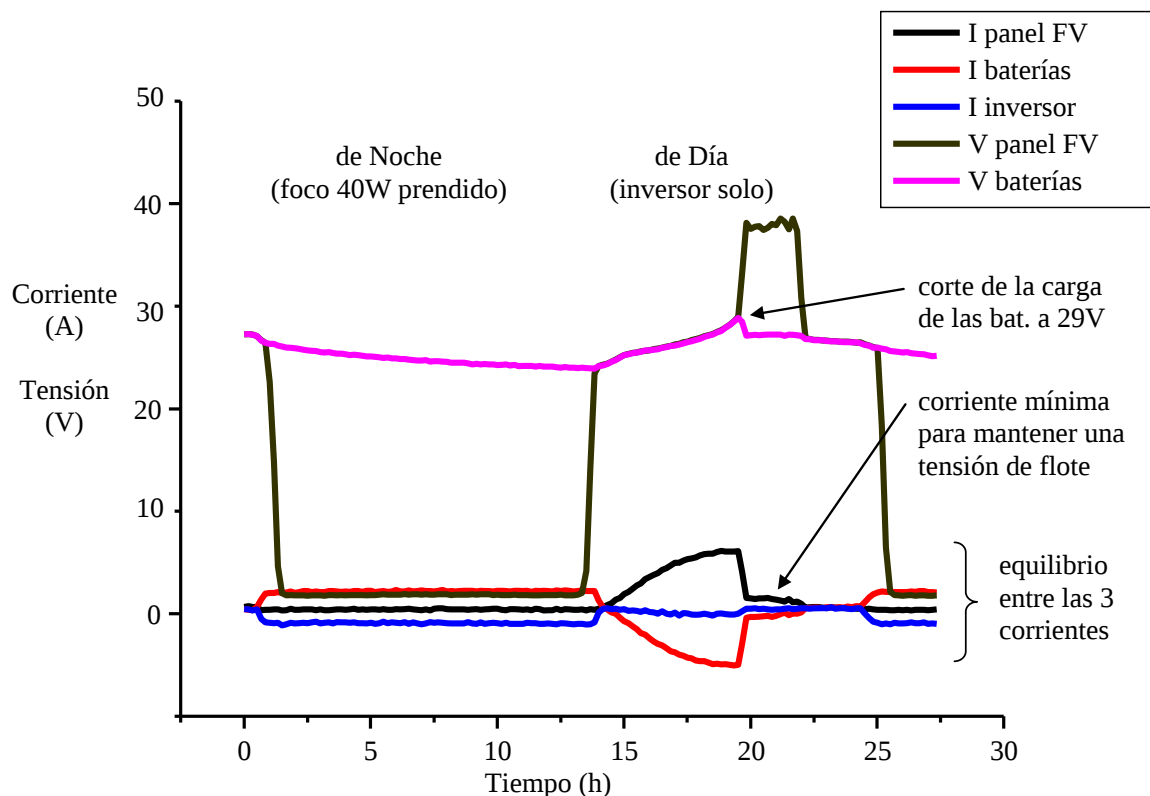


FIGURE. 5

VALORES DE TENSIÓN Y CORRIENTE MEDIDOS A LO LARGO DEL DÍA 18 DE ABRIL.

Los valores eléctricos registrados en salida del inversor y los datos de temperatura y radiación solar obtenidos con el adquisidor desarrollado presentaron también resultados que permiten verificar el adecuado comportamiento del sistema de adquisición. Por lo tanto, el equipamiento de adquisición de datos desarrollado responde de forma adecuada a la medición de variables importantes en la caracterización de los SFA instalados en las escuelas rurales de la provincia de Corrientes, presentándose como una herramienta

importante para el monitoreo in situ, y el análisis de su comportamiento en condiciones reales de operación, en ciclos diarios, semanales, y anuales.

CONCLUSIONES

Concientes de la necesidad de aumentar la confiabilidad de SFA instalados en la región, se planteó el desarrollo de un SAD que permita determinar los principales mecanismos o eventos que producen la falla de los mencionados sistemas.

El sistema de adquisición desarrollado permite la medición de 20 diferentes parámetros diferentes con valores de incertezas adecuados, considerando los valores de fondo de escala planteado.

Para corroborar el comportamiento del sistema desarrollado y verificar la calibración de los canales de medición, se instaló en la Faculta de Ciencias Exactas de la UNNE un SFA experimental que permitió verificar el adecuado funcionamiento del dispositivo desarrollado. De esta forma se consiguió crear un equipo de bajo costo, fácilmente reproducible, que permite, a través del análisis de los datos medidos, entender mejor el comportamiento de SFA y evaluar los posibles efectos de pérdida de capacidad o deterioro que conducen al mal funcionamiento o la falla total de este tipo de sistemas.

REFERENCIAS

- [1] Bello, C., et al, "Proyecto de electrificación rural a través de sistemas fotovoltaicos autónomos en la provincia de Corrientes", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 13, Congreso ASADES 2009.
- [2] PERMER, <http://energia.mecon.gov.ar/permer/permer.html>, 2010.
- [3] Reep, Secretaría de Energía, Fundación Bariloche, "Energías renovables: diagnósticos, barreras y propuestas", Junio de 2009.
- [4] Scarabée, Boletín de conexión de la red de expertos en electrificación descentralizada, N° 22, Noviembre de 2008.
- [5] Observ'ER, "Worldwide electricity production from renewable energy sources", Ninth inventory, 2007.
- [6] United Nations, "Rural Population by Major Area, Region and Country, 1950-2050", 2009.
- [7] PERMER, "Provisión e instalación de equipos fotovoltaicos e instalación interna en viviendas rurales de diversas provincias – Etapa 1", Licitación internacional, Febrero de 2009.
- [8] PERMER, "Provisión e instalación de equipos fotovoltaicos e instalación interna en viviendas rurales de diversas provincias – Etapa 2", Licitación internacional, Enero de 2010.
- [9] Diaz Villar, P. , "Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: aplicación a la electrificación rural", Tesis doctoral, Madrid, 2003.
- [10] Bello, C., et al, "Proyecto de electrificación rural a través de sistemas fotovoltaicos autónomos en la provincia de Corrientes.", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 13, Congreso ASADES 2009.

ANEXO. 1

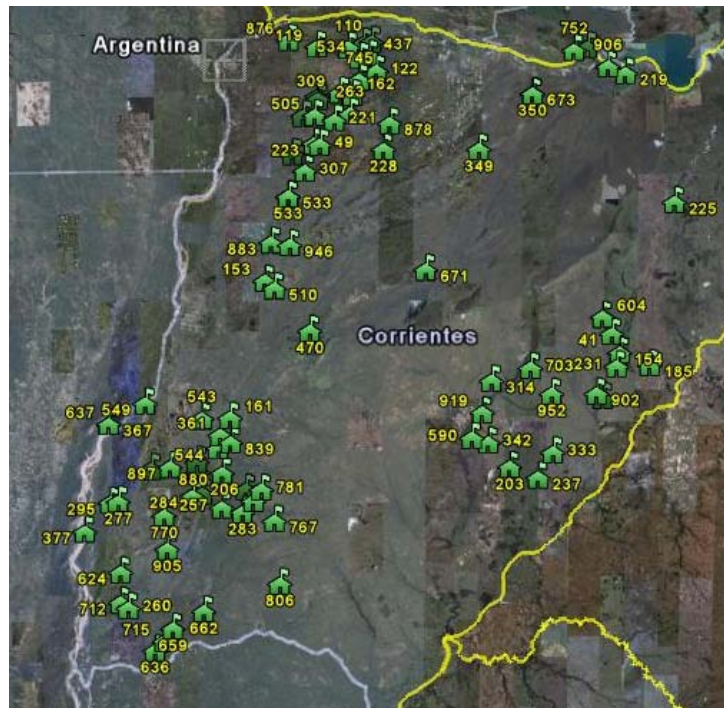


FIGURA. A1

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESCUELAS CON SFA INSTALADOS EN LA PROVINCIA DE CORRIENTES, ARGENTINA

TABLA A1

ENTRADAS ANALÓGICAS DEL ADQUISIDOR DESARROLLADO

<i>Canal de medición</i>	<i>Corriente</i>	<i>Rango</i>
V panel FV rama 1	CC	0 a 50 V
V panel FV rama 2	CC	0 a 50 V
V baterías	CC	0 a 30 V
V batería intermedia rama 1	CC	0 a 15 V
V batería intermedia rama 2	CC	0 a 15 V
V salida inversor n° 1	CA	0 a 250 V
V salida inversor n° 2	CA	0 a 250 V
I panel FV rama 1	CC	0 a 40 A
I panel FV rama 2	CC	0 a 40 A
I baterías rama 1	CC	- 40 a 100 A
I baterías rama 2	CC	- 40 a 100 A
I entrada inversor n° 1	CC	0 a 100 A
Radiación solar sobre el panel FV	-	0 a 1400 W/m ²
I salida inversor n° 1	CA	0 a 15 A
I salida inversor n° 2	CA	0 a 15 A
Temperatura	-	0 a 80 °C