

ESTUDIO DE MEJORAS MEDIANTE AJUSTE ANGULAR EN APLICACIONES FOTOVOLTAICAS EN SITIOS AISLADOS DE LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ - AVANCES

Jorge Lescano¹, Rafael Oliva², Patricio Triñanes Barrientos³, Néstor Cortez⁴

Area Energías Alternativas, Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA) Instituto de Tecnología Aplicada UARG - L.Rivera y Gregores, 9400 Río Gallegos - Santa Cruz TE 02966 442317/19 int 21, email: rafael.beltran.oliva@gmail.com

Recibido 09/09/15, aceptado 16/10/15

RESUMEN: En los sistemas de generación fotovoltaica, un problema que se presenta a altas latitudes (ej Patagonia Austral) es la variación significativa del ángulo de captación óptima según la estación del año. Puede incrementarse la eficiencia en la captación de la radiación solar adaptando el ángulo de inclinación de los paneles para mantener el suministro de electricidad en época invernal utilizando lo menos posible una fuente energética complementaria. Se buscó realizar una evaluación cuantitativa de dicha mejora a través de mediciones comparadas. El presente trabajo muestra los avances en la instrumentación del sistema de medición comparativa de la potencia y la energía generada por dos juegos de paneles fotovoltaicos, uno con inclinación fija y otro con ángulo adaptable mensualmente, y las dificultades encontradas a partir del análisis de los primeros datos comparables. Se muestran las actividades de diseño y montaje, configuración del equipamiento durante 2014 y los resultados preliminares de nuevas mediciones comparativas realizadas desde inicio de 2015.

Palabras clave: energía solar, sistemas fotovoltaicos, sistema de medición, calibración, datos comparativos.

INTRODUCCIÓN

Existe una creciente utilización de sistemas fotovoltaicos para el suministro de energía eléctrica en sitios aislados, aún en emplazamientos no singularmente favorecidos en cuanto a promedio anual de radiación solar. Un ejemplo es en la Provincia de Santa Cruz donde las condiciones climáticas son muy severas y la densidad de población es muy reducida. Si bien ha habido una ampliación significativa del acceso al suministro eléctrico interconectado, la extensión de líneas resulta muy costosa más allá de algunos kilómetros de los centros urbanos. Sobre todo para consumos bajos, la energía solar fotovoltaica representa una solución con pocos problemas mecánicos y de mantenimiento y de costo decreciente en los últimos años (Vidal et al., 2014), esto sumado a la difusión dada a este tipo de sistemas a través de programas como el PERMER (Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales) (IESC, 2014). Sin embargo, dado el bajo nivel de radiación y escasas horas de sol en época invernal (Grossi Gallegos y Righini, 2007; Lescano et al., 2008), existe una demanda de mejora por métodos sencillos del rendimiento de dichos equipos, sin recurrir a tecnologías más costosas como los reguladores MPPT (Maximum Power Point Tracking) o celdas

¹ Area Energías Alternativas, Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA)

² Area Energías Alternativas, Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA) y L&R Ingeniería

³ Area Energías Alternativas, Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA)

⁴ Departamento de Física, y Area Energías Alternativas, Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA).

de alta eficiencia. En trabajos anteriores (Lescano et al., 2013) se presentaron los lineamientos de los ensayos propuestos para evaluar en condiciones reales los efectos de la alteración del ángulo de inclinación de un juego de paneles fotovoltaicos a lo largo del año en nuestra zona, en comparación con un grupo de ángulo fijo. En el presente trabajo se muestran los avances registrados y las mediciones preliminares sobre el sistema modificado para la lectura de corriente, tensión y potencia sobre ambos juegos de paneles en canales separados, con registros estadísticos adecuados.

DESCRIPCIÓN GENERAL

Luego de la primera etapa a inicios de 2012, en que se montó el primer juego de dos paneles fotovoltaicos (SOLARTEC, 20 W de potencia pico) sobre un soporte individual en el techo del Laboratorio de Energías Alternativas (UNPA-UARG), conectados en serie y montados con un inclinación fija de 60° respecto al plano horizontal (*Figura 1, izq*), se programó el reemplazo del soporte original por uno dual, que permitiera el montaje de un segundo juego de paneles (*Figura 1, der*). El conjunto abastece un banco de baterías tubulares (AMSA, 24 V, 100 Ah) del laboratorio, instalado en esa fecha y controlado por un regulador Stecca 8.8c.



Figura 1: Montaje de paneles en techo Lab. AEA (izq) – Reinstalación con nuevo soporte (der)

Esta primera etapa del estudio se llevó adelante a través de un sistema de medición y adquisición de datos de desarrollo propio (SISMED_FV, primera revisión), que realizaba el registro de valores instantáneos cada minuto de la corriente producida por ambos paneles en serie y de la tensión del banco. El equipo por el cual se realizaba esta medición (Lescano et al., 2013), se lo denominó Sistema A.

Modificaciones al sistema original

A efectos de completar el relevamiento a distintos ángulos, al registrador SISMED_FV del sistema fotovoltaico A se le agregó un canal de sensado de corriente adicional para constituir el sistema B (*Figura 2*), que permitiría realizar una comparación de corriente entre un conjunto de paneles a ángulo fijo y otro a un ángulo manualmente ajustable mes a mes buscando un mejor aprovechamiento de la energía solar incidente, a lo largo del período de estudio. Ambos paneles alimentan a través de un regulador una carga resistiva similar, mientras se miden tensión, corriente y se calcula energía aportada. El sistema ampliado (B) que se ilustra en la *Figura 2* agrega a los dos paneles fotovoltaicos Solartec de 20 Wp (03) originales, un conjunto de otros dos (09) de ángulo ajustable que también se conectan en serie sobre el soporte exterior, en una caja de conexiones. El cable de bajada compartido (07 y 10) mas las protecciones (fusibles reemplazados por llaves térmicas) se conectan a través de sensores individuales de corriente de efecto hall (04 y 11) a un regulador fotovoltaico (05) Steck Solsum 8.8c (10 A máximo). Dicho regulador a su vez se conecta a través de otra llave térmica (08) al banco de baterías de 24 V (06). Los terminales de salida para cargas (+/-LD) conectan a la fuente de

alimentación (02) del tipo buck/switching del SISMED_FV, que reduce los 24 V a una salida regulada de 10.5 V. Esta salida es la que alimenta al conjunto CPU / Placas de acondicionamiento de señal del SISMED_FV (01), y además a las cargas de 24V controladas por relé.

UNPA - Sistema Ampliado (B) de Registro Fotovoltaico (1Reg)

SISTEMA FJO + ANGULO AJUSTABLE -AEA - Banco de 24V /100Ah
 J.LESCANO / R.OLIVA/ N.CORTEZ/ P.TRIÑANES -- REV(3-1Reg).03/2013

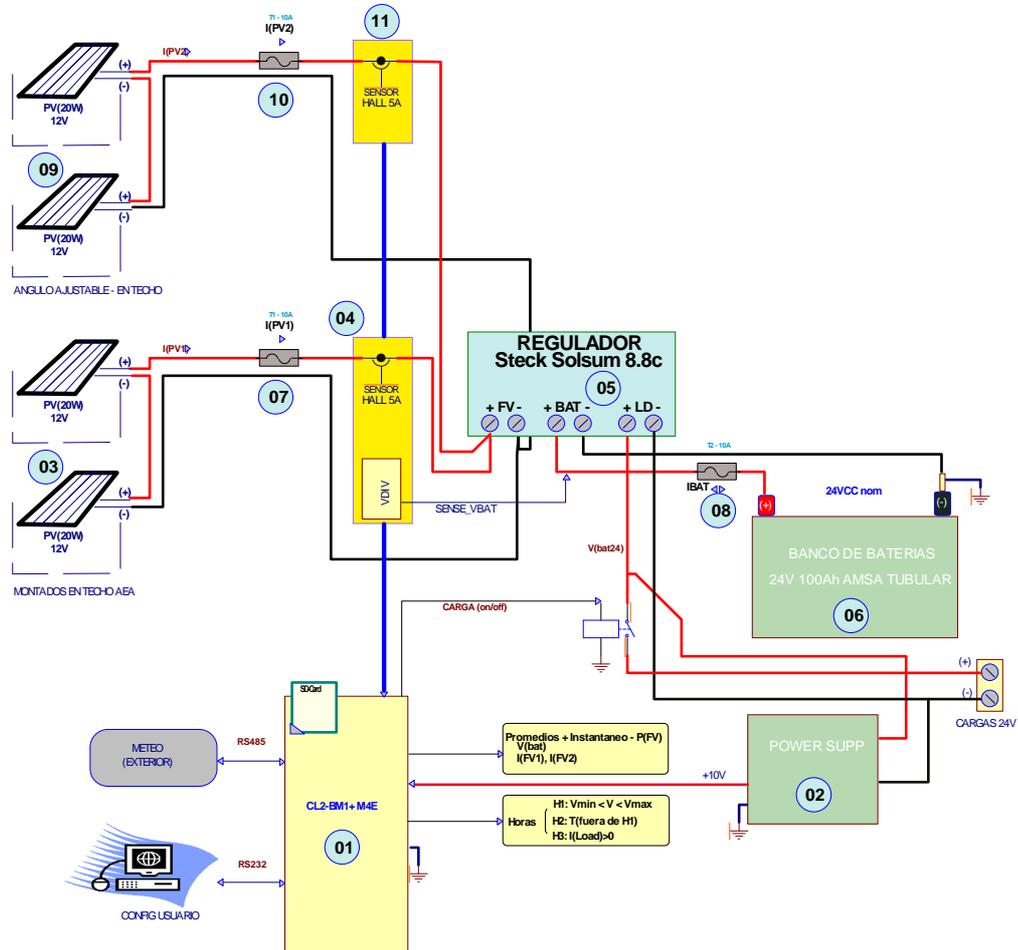


Figura 2: Sistema Fotovoltaico Ampliado (B) utilizando un único regulador



Figura 3: Modificación sistema de sensores para 2 canales I (ACS014-5), uno de V (2014) (izq), y montaje de paneles inferiores, canal IFV2 (der.)

En la Figura 3 (arriba) se observa la modificación al sistema de sensores, para aceptar el segundo canal de corriente 0- 5 A, y en la Figura 4 un diagrama eléctrico de dicha modificación. En la Figura 3 (abajo) se aprecia el montaje de los paneles inferiores en el canal IFV2.

MEDICION DE POTENCIA ELECTRICA- FV CK4 v4/2015
ETAPA DE ENTRADA - SENSORES - SISMED/F CKT-B
 R.Oliva - revisión 10.01.2015

Nota (10.1.2015): Por cuestiones de ruteo interno, IFV2 no puede ser conectado a P0.7. La opción encontrada fue conectar a P0.2 (ex Relay) y utilizar P1.6 = OUT2 para activar el Relay.

CPU

```

FV_VBAT= CGbat*( IV_BAT +CCiBat)
FV_IFV1= CGiM1*( iI_FV1 +CCiM1)
FV_IFV2= CGiM2*( iI_FV2 +CCiM2)
FV_PWR1= FV_VBAT*FV_IFV1
FV_PWR2= FV_VBAT*FV_IFV2
    
```

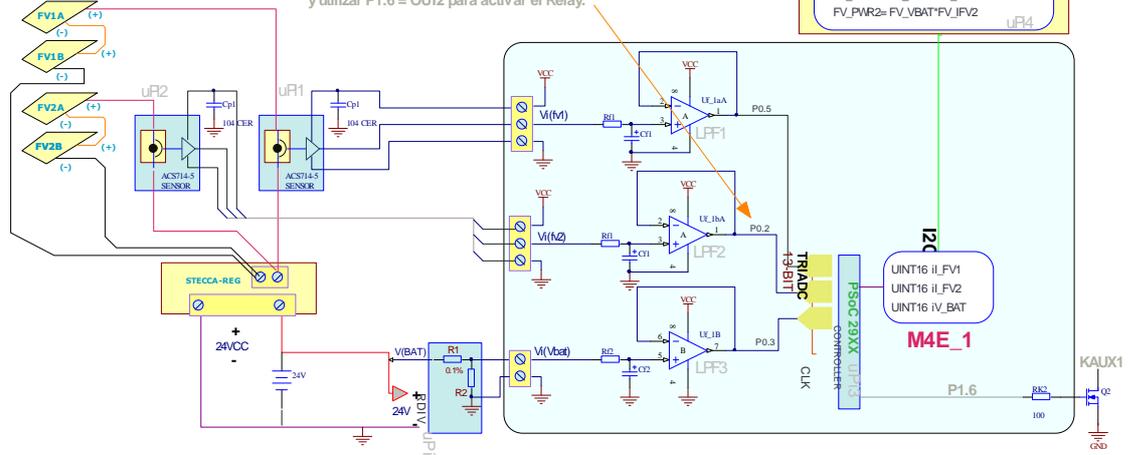


Figura 4: Diagrama eléctrico del sistema de sensores para 2 canales I (ACS014-5), uno de V

MODIFICACIONES SISMED/F 02-2014 - UNPA

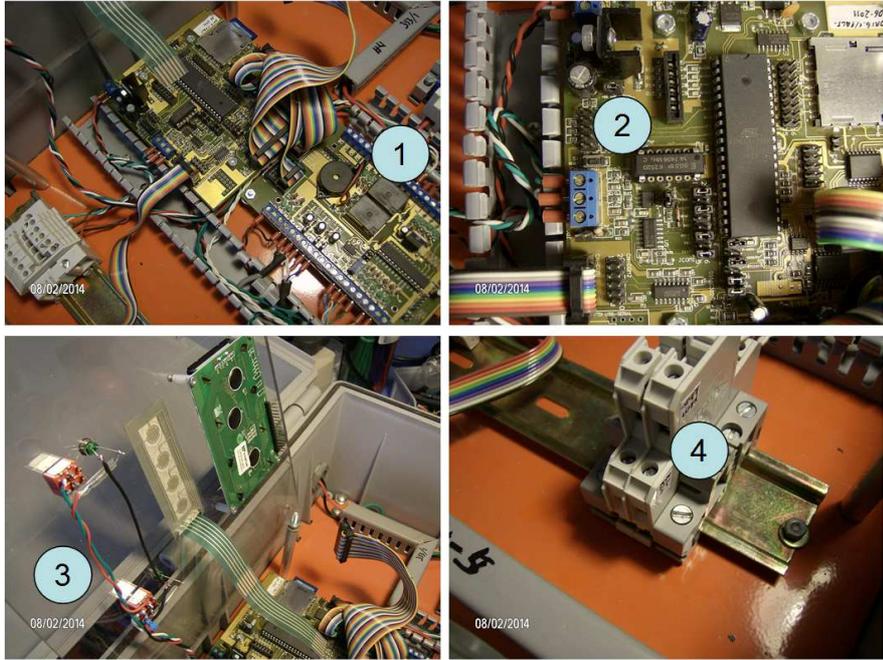


Figura 5: Modificaciones realizadas a equipo SISMED_FV 24

En la Figura 5 se muestran las modificaciones realizadas en la versión presente, desde inicios de 2014. En Figura 5-1 se aprecian los dos Relés, (K2 y Kaux) de contactos secos montados en la placa M4E de entrada-salida que se utilizarán para el control de las cargas de 24V, y la bornera múltiple a la izquierda que permitirá la conexión futura de una unidad METEO exterior via RS485. En 5-2 se realizó el reemplazo del cristal principal de 7.2MHz a 14.4MHz, para una mayor velocidad de procesamiento de la CPU. En 5-3 se observa el cableado de los switches frontales, que permiten al usuario diferenciar modos de operación entre Normal, configuración (Setup) y Prueba Detenida, según se describe en la sección relativa al software. Finalmente, en 5-4 se observa la bornera agregada para la conexión a los dos relés mencionados K2 y Kaux.

En la Figura 6 se muestra un diagrama del nuevo tablero, mientras que en la Figura 7 se aprecian imágenes del equipo en funcionamiento. La expansión futura que prevé la instalación de un módulo METEO para variables meteorológicas (viento, temperatura y radiación solar) (Oliva, 2012). Se aprecia un cargador de 220V que se ha previsto pero aún no instalado, para el momento en que las cargas excedan el aporte fotovoltaico y evitar un período prolongado de baja carga en las baterías.

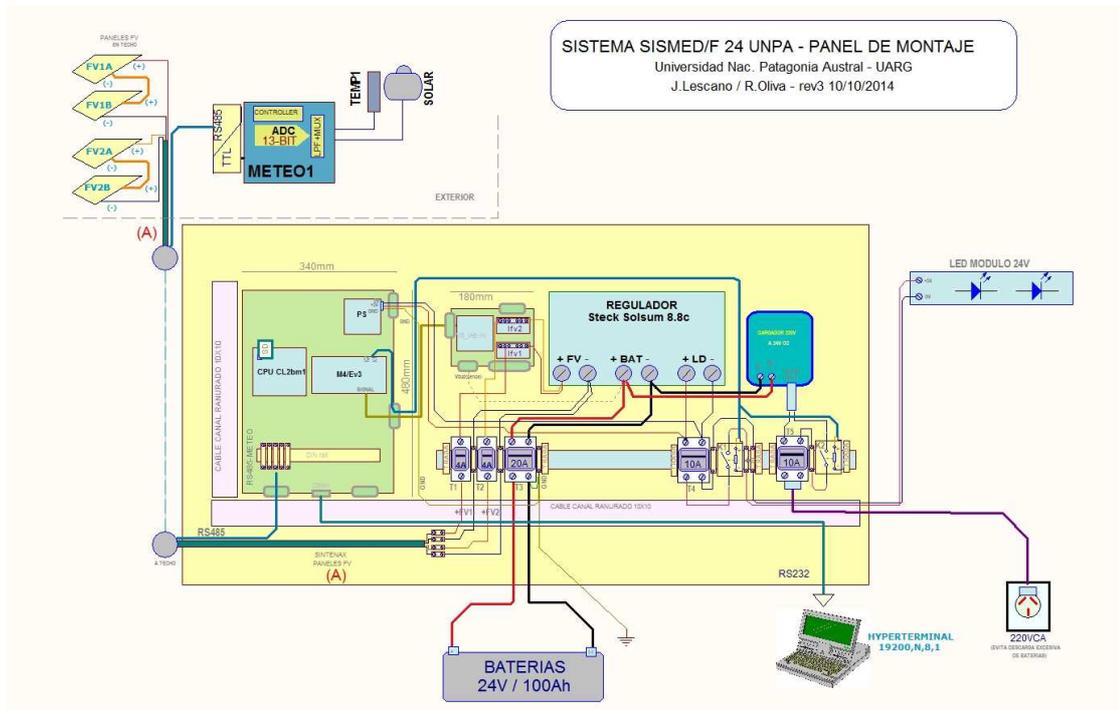


Figura 6: Diagrama de distribución del nuevo tablero

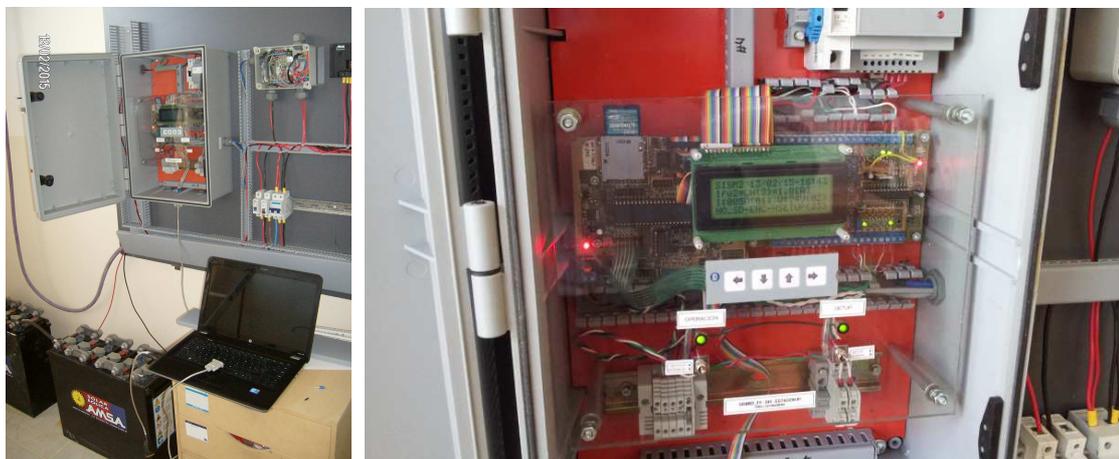


Figura 7: Fotos del sistema, con nuevo Tablero ampliado para SISMED_FV en AEA-UARG, y configuración vía Notebook a través de un puerto con convertor USB/RS232

Modificaciones al software interno

La nueva distribución y capacidades obligó a una extensa revisión del *firmware* o software interno, cuyo diagrama en bloques para la versión B del SISMED_FV 24 puede verse en la Figura 8 (realizado con software libre yEd). Como suele suceder en estos casos, la revisión del software para incorporar módulos estadísticos, acceso Modbus y calibración de bajo nivel separada de la configuración de usuario de cada sensor (en Unidades de Ingeniería - UI), demandó un tiempo mayor que el previsto.

SISMED-F/24 - SOFT INTERNO
 DIAGRAMA GENERAL
 R.OLIVA_v2 09-11-2013

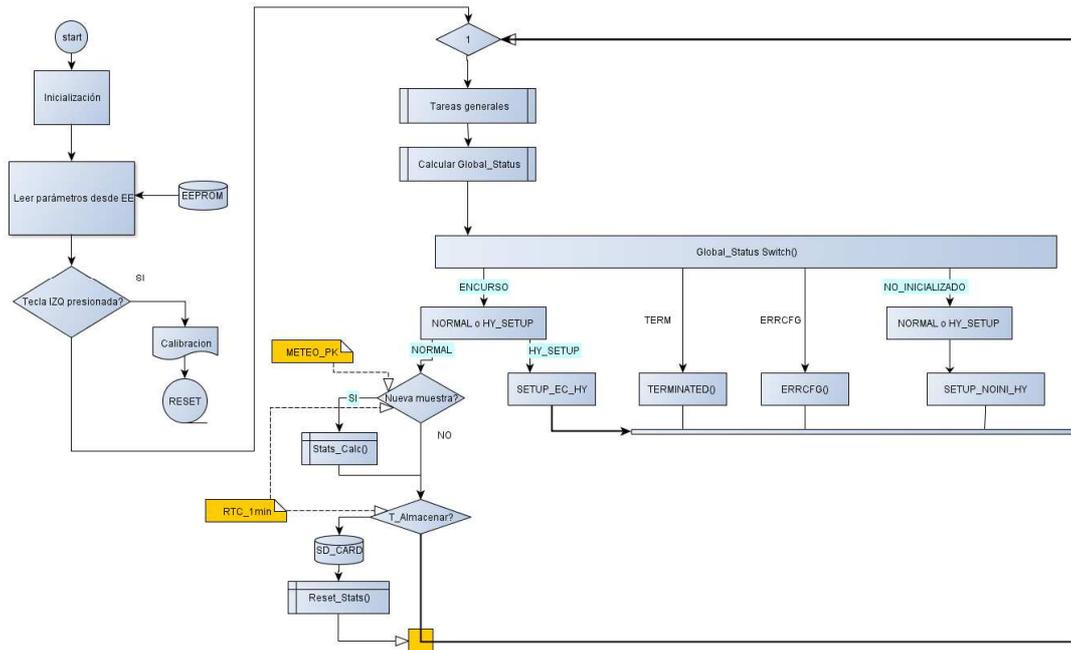


Figura 8: Diagrama de la nueva versión de software para SISMED_FV 24 (con yEd)

Como en versiones anteriores, se programa tomando como base un procesador AVR ATMega1284P corriendo sobre una placa CL2bm1 de L&R Ingeniería, utilizando un compilador de lenguaje C Codevision AVR. Se implementó en esta versión un sistema de acceso a las lecturas instantáneas a través del comando '3' del protocolo Modbus (Modbus, 2014) (esclavo con dirección configurable), que permite cuando el equipo está en modo NORMAL realizar un monitoreo remoto de las variables a través de un canal serie desde un equipo maestro. Durante 2014 se trabajó además sobre las modificaciones al software requeridas para dotar al SISMED_FV de capacidad para ambos canales IFV1, IFV2 y cómputo interno de estadísticas (valor medio, máximo, mínimo y desvío estándar) para cada canal (Figura 9), incluyendo potencia de cada grupo de paneles (considerando $PFV1 = V_{bat} * IFV1$, $PFV2 = V_{bat} * IFV2$), implementando asimismo una separación entre la calibración básica o de bajo nivel de cada canal (ej. entrada 0-5V, produciendo constantes de "calibración de bajo nivel") y las constantes de cada sensor, cuya calibración se realiza separadamente.

Archivo Datos - Sistema CL2bm1/SISM2(FV)
 L&R Ingeniería 2014
 Archivo: SF130215.CSV
 Minutos Transcurridos Medicion: 513
 T_almacenamiento: 1 Minuto
 Fecha & Hora Lanzam.: 13/02/2015 16:54:09
 Version ROM: vF29e
 Sitio: RIOGALLEG
 ID de la Estacion: SISF_n
 Fabr./Modelo Panel FV1 [: FABR.
 Inclinacion Panel FV1 [gr] 52
 Fabr./Modelo Panel FV2 [: FABR.
 Inclinacion Panel FV2 [gr] 55

INFORMACION DE LA PRUEBA: (en prep.)
 Umbral Med. de Tensil : NOMINAL 25.2 [V] V_Nivel 25.2 [V]Porc. de Var. 5
 con variacion +K de Tensil : +K 26.46 -K 23.94
 Horas de Prueba requeridas: 60
 Sitio: RIOGALLEG
 ID de la Estacion: SISF_n
 V_cese_Op: 0 [V]
 N° de Estacion: 3
 Ub./Nom.: RIOGALLEG
 FECHA

HORA	REGNO	VBMAX	VBMIN	VBMED	VBDSTD	IFV1_MAX	IFV1_MIN	IFV1_MED	IFV1_DSTD	IFV2_MAX
13/02/2015 16:55:00	0	27.73	27.72	27.73	0.01	0.91	0.9	0.91	0.01	0.91
13/02/2015 16:55:00	1	27.74	27.72	27.73	0.01	0.91	0.89	0.9	0	0.91
13/02/2015 16:56:00	2	27.75	27.74	27.75	0	0.91	0.9	0.91	0	0.91
13/02/2015 16:57:00	3	27.75	27.75	27.75	0	0.91	0.91	0.91	0	0.91
13/02/2015 16:58:00	4	27.76	27.75	27.76	0	0.91	0.9	0.9	0	0.91
13/02/2015 16:59:00	5	27.76	27.75	27.76	0	0.9	0.89	0.9	0	0.9
13/02/2015 17:00:00	6	27.76	27.75	27.76	0	0.9	0.89	0.89	0	0.9
13/02/2015 17:01:00	7	27.76	27.75	27.76	0	0.89	0.89	0.89	0	0.89
13/02/2015 17:06:00	8	27.76	27.73	27.76	0	0.89	0.71	0.88	0.03	0.89
13/02/2015 17:06:00	9	27.74	27.68	27.71	0.02	0.91	0.59	0.82	0.11	0.91
13/02/2015 17:07:00	10	27.76	27.54	27.71	0.07	0.9	0.14	0.69	0.31	0.9
13/02/2015 17:08:00	11	27.54	27.41	27.45	0.03	0.14	0.13	0.13	0	0.14

Figura 9: Formato de los archivos de salida en nueva versión SIMED_FV

La calibración de cada sensor (Figura 10) produce constantes en Unidades de Ingeniería (UI) que se almacenan en la EEPROM del SISMED_FV (al igual que las de bajo nivel) y permiten cambiar sensores configurando nuevas constantes con un menú de usuario.

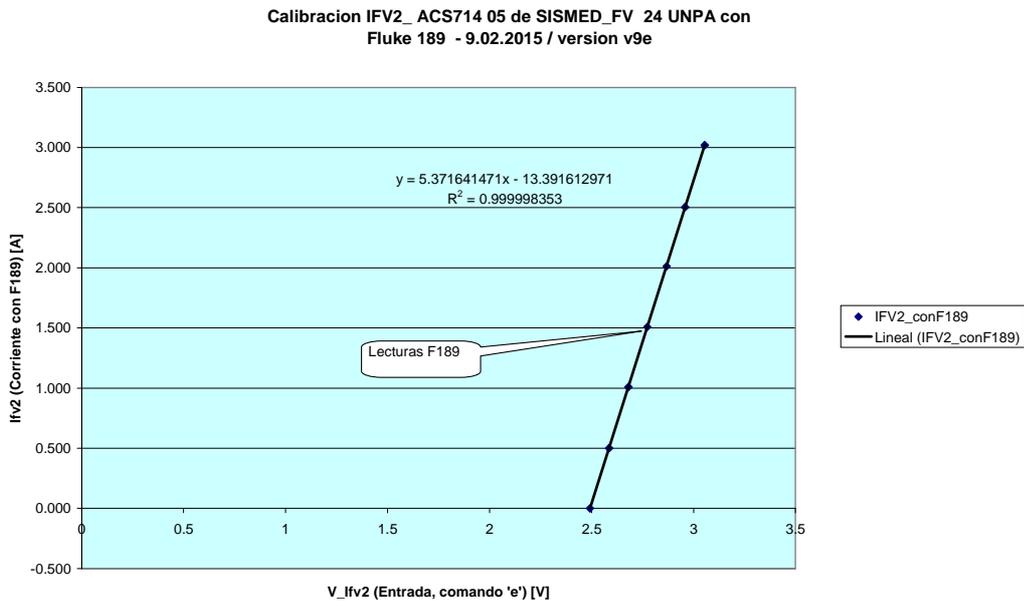


Figura 10: Recta de calibración de sensor IFV2, obtenida circulando una magnitud conocida de corriente por el sensor y leyendo la tensión de salida proporcionada por el mismo ACS714 a la entrada del M4/E

MEDICIONES DE ENSAYO - AMBOS SENSORES CON IDÉNTICA CORRIENTE

Durante el primer mes de instalación del sistema renovado (Febrero 2015) se realizó una medición de prueba, haciendo circular la misma corriente de un solo juego de paneles, a través de ambos canales (Sensor IFV1 e IFV2 en serie), a efectos de verificar el desempeño del sistema y evaluar posibles desequilibrios post-calibración. Los primeros resultados se muestran en la Figura 11.

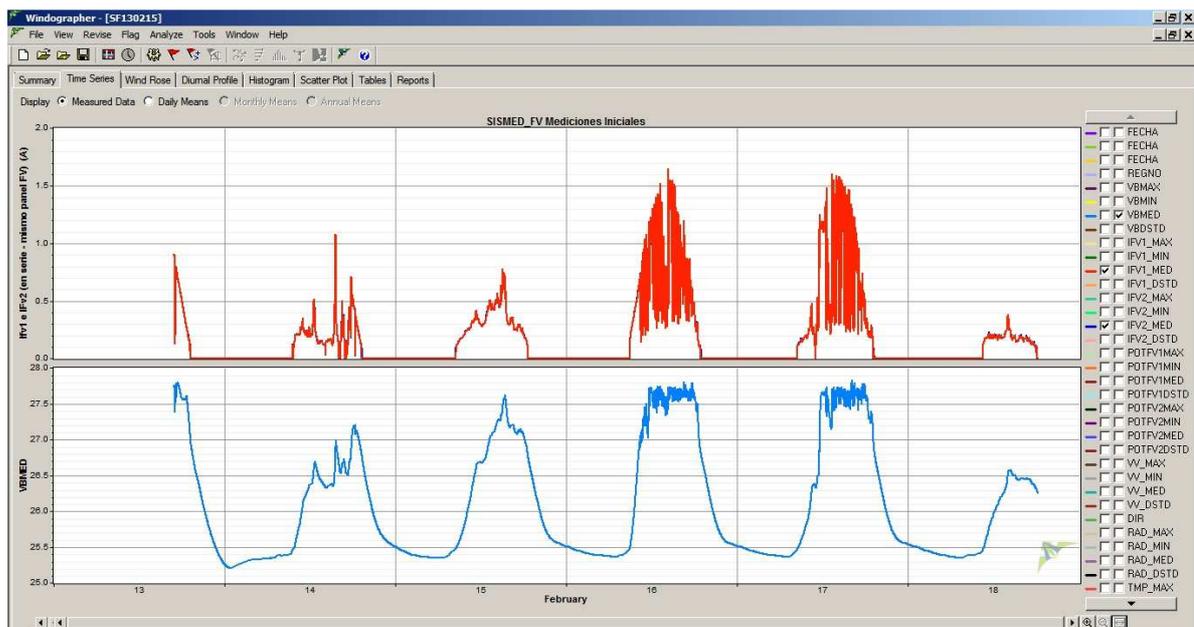


Figura 11: Gráfica de lectura de 5 días, promedios de 1 minuto de IFV1 (gráfica superior - rojo, superpuesto con IFV2-azul) y de Vbat (gráfica inferior-celeste), con sensor IFV1 cableado en serie con IFV2, único par de paneles

Puede observarse que las mediciones promedio de 1 minuto de IFV1 e IFV2 están prácticamente superpuestas para todos los rangos, observándose una leve diferencia en los rangos inferiores. A efectos de cuantificar esta diferencia, más visible en las mediciones de potencia, y originada en el umbral inferior de sensibilidad y ruido de los sensores (corrientes inferiores a 0.2 A con un rango nominal de 5 A), además de posibles errores en la calibración, se realizaron análisis en días representativos de baja radiación (14/2) y de radiación adecuada (26/2). En la Figura 12 se muestran los resultados de potencia (misma corriente, 2 sensores) para el día 14/2 de baja radiación, y a continuación el error relativo entre ambas mediciones (Figura 13). El error salvo puntos aislados cercanos a 0, se mantiene por debajo del 5%.

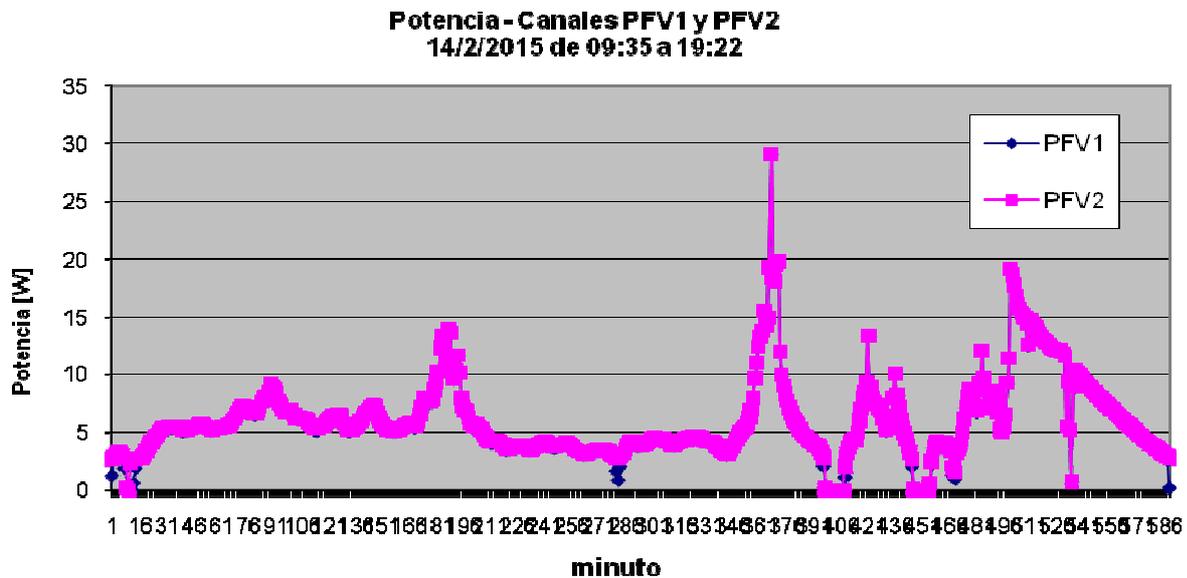


Figura 12: Gráfica de promedios de 1 minuto de PFV1 y PFV2 midiendo la misma corriente, 14/2

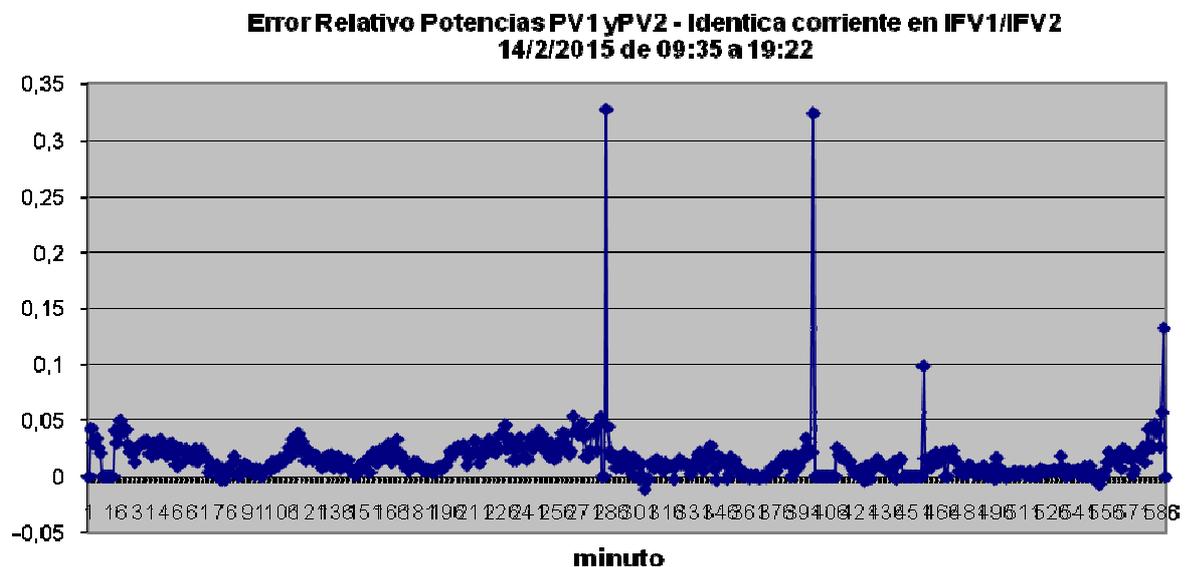


Figura 13: Error relativo entre promedios de 1 minuto de PFV1 y PFV2 midiendo la misma corriente, 14/2 – los errores picos > 30% se dan en puntos de muy baja radiación

Para la obtención del error relativo en la medición de potencia del mes de Febrero 2015 (corriente de un único juego de paneles circulando por ambos sensores) la secuencia de cálculo en una planilla convencional fue la siguiente:

- 1) 1º Columna PFV1
- 2) 2º Columna PFV2

- 3) 3° Columna PFV2-PFV1 Diferencia, medida cada minuto, entre las potencias PFV2 y PFV1 calculadas al circular la corriente por cada sensor, en este caso corriente de un único panel.
- 4) 4° Columna (PFV2-PFV1)/Promedio(PFV1;PFV2), en este caso se filtran condicionalmente los valores de potencia nulos, y los inferiores a cierto umbral (ruido enmascara mediciones).

Los resultados para un día de radiación promedio como es el 26/3 se muestran en las Figuras 14 y 15, y muestran un comportamiento con errores inferiores al 1% excepto en los extremos de amanecer y atardecer, donde los umbrales de corriente son muy bajos.

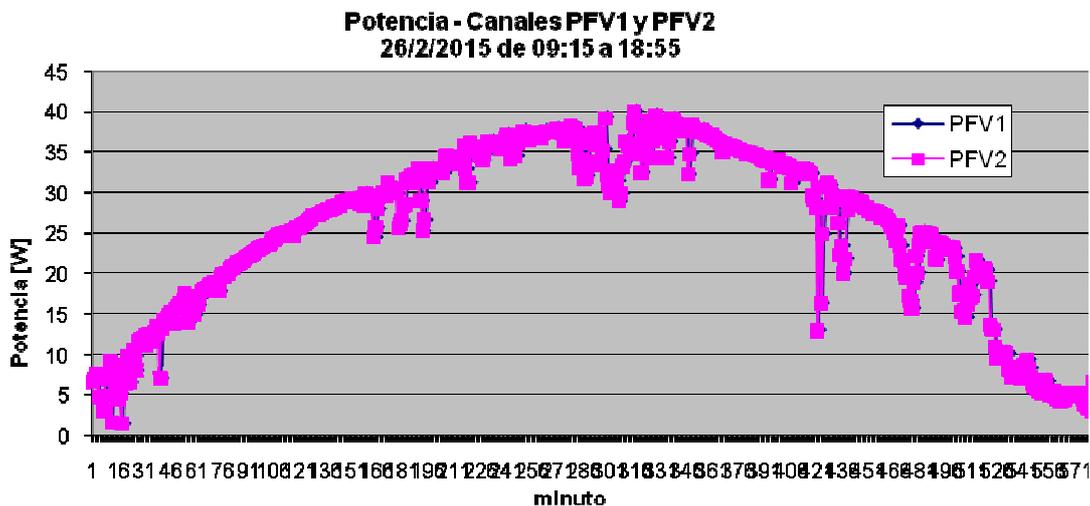


Figura 14: Gráfica de promedios de 1 minuto de PFV1 y PFV2 midiendo la misma corriente, 26/2

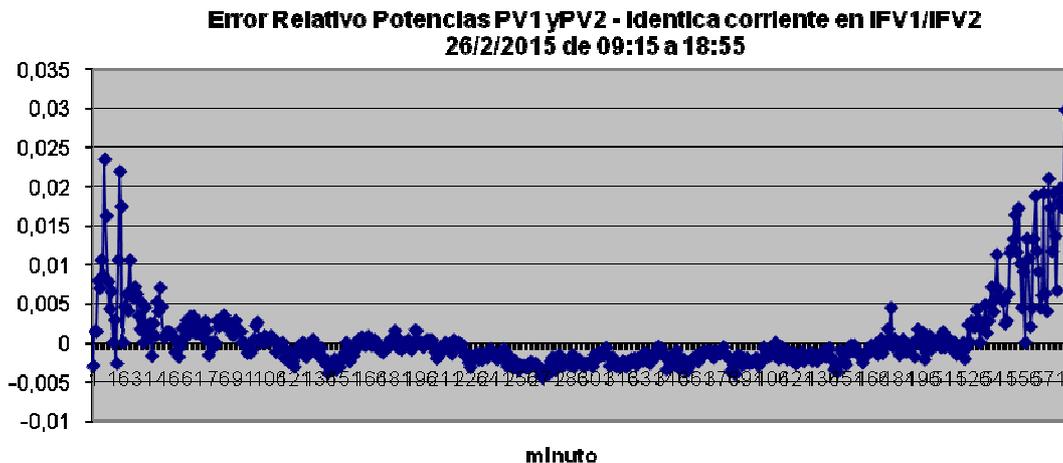


Figura 15: Gráfica de error relativo en promedios de 1 minuto de PFV1 y PFV2 midiendo la misma corriente, 26/2 (día de radiación promedio)

MEDICIONES MARZO A JUNIO CON GRUPOS DE PANELES SEPARADOS

Durante el período desde marzo 2015 en adelante, se registraron las primeras pruebas manteniendo un ángulo idéntico de 60° en ambos juegos de paneles, para observar posibles diferencias que condicionen la operación comparativa. Los promedios PFV1 corresponden a los de 1 minuto de los paneles superiores, los de PFV2 los inferiores, y el cálculo es idéntico al de la secuencia 1-4 mencionada en el punto anterior, o sea:

- 1) 1° Columna PFV1
- 2) 2° Columna PFV2

3) 3° Columna PFV2-PFV1 Diferencia, medida cada minuto, entre las potencias PFV2 y PFV1 calculadas al circular la corriente por cada sensor, en este caso la corriente correspondiente a los paneles superiores como IFV1 y las de los paneles inferiores como IFV2.

4) 4° Columna (PFV2-PFV1)/Promedio(PFV1;PFV2), en este caso se filtran condicionalmente los valores de potencia nulos, y los inferiores a cierto umbral (ruido enmascara mediciones).

A efectos del gráfico de diferencias, un valor PFV2-PFV1 mayor a 0 indica preponderancia de los paneles inferiores, mientras que a la inversa ocurre con los valores negativos (paneles superiores preponderantes). Observando los valores correspondientes a un día de buena radiación como el 24/3, se observa por la mañana (Figura 16) un registro levemente superior de los paneles superiores (PFV1), reflejado en una diferencia relativa negativa en la Figura 17 (que llega al 15% en las primeras horas), probablemente causado por mejor captación a mayor altura en las primeras horas de sol. Por la tarde, el proceso se revierte y son los inferiores los que predominan, llegando a una diferencia extrema del 20%. Si bien la ubicación de los paneles es en el techo de un edificio relativamente alto (Figura 1) no se descarta la posible influencia de elementos del edificio sobre la potencia incidente en amanecer y atardecer.

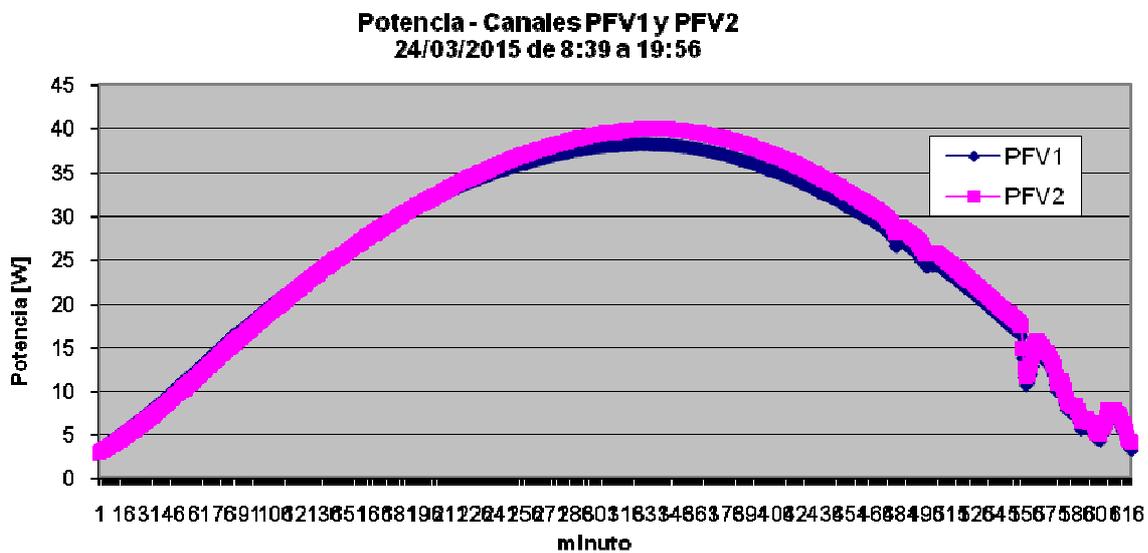


Figura 16: Gráfica del 24/3 de promedios de 1 minuto de PFV1 y PFV2 midiendo juegos separados de paneles superior e inferior (Figura 3, abajo), siendo PFV2 la potencia del inferior.

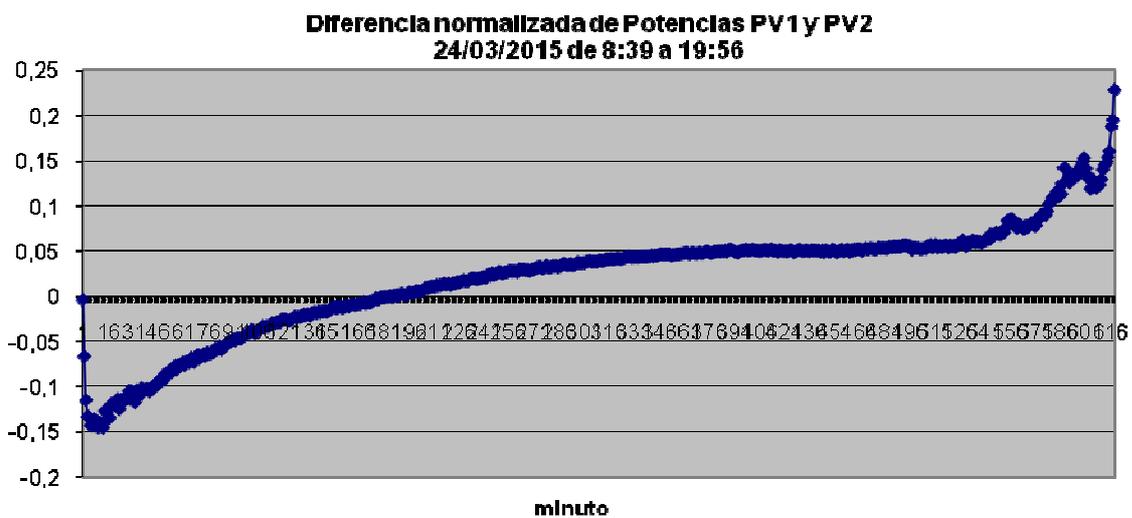


Figura 17: Gráfica de diferencia normalizada PFV2-PFV1 de promedios de 1 minuto entre PFV2 (paneles inferiores) y PFV1 (paneles superiores), el 24/3 (día de radiación promedio)

Para fines de otoño se observó (Figura 18) el día 8/6 con radiación típica inferior a las de verano pero sin embargo significativa, un patrón similar de comportamiento, aunque las bajas radiaciones con potencias inferiores a 5 W producen una zona indefinida (Figura 19) a comienzos del día, posteriormente se replica la diferencia a favor de los superiores en la mañana (favorecidos por la mayor altura del soporte) y a mediodía y la tarde predominan los paneles inferiores.

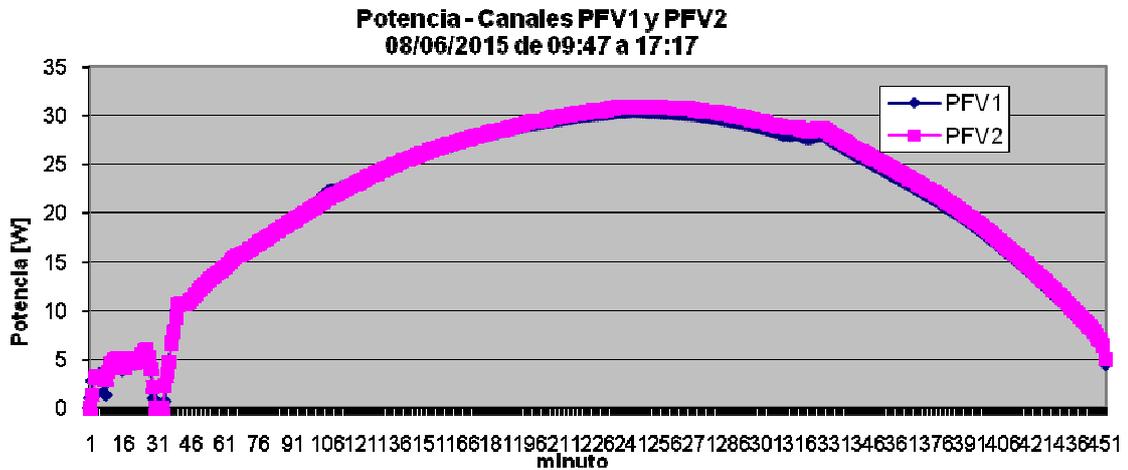


Figura 18: Gráfica del 8/6 de promedios de 1 minuto de PFV1 y PFV2 midiendo juegos separados de paneles superior e inferior (Figura 3, abajo), siendo PFV2 la potencia del inferior.

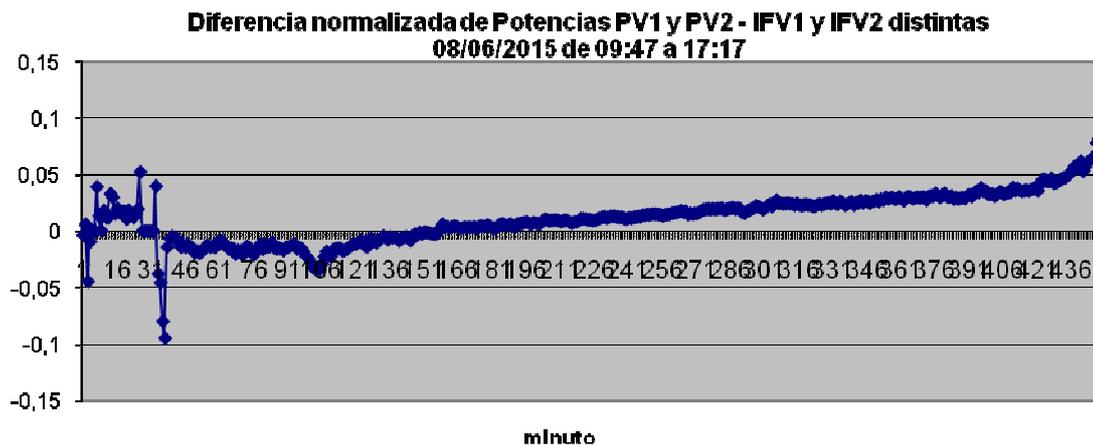


Figura 19: Gráfica de diferencia normalizada PFV2-PFV1 de promedios de 1 minuto entre PFV2 (paneles inferiores) y PFV1 (paneles superiores), el 8/6 (últimos días de otoño)

CONCLUSIONES

Se buscó a través de un sistema de medición desarrollado para estudiar el posible incremento en la eficiencia en la captación de la radiación solar en aplicaciones fotovoltaicas adaptando el ángulo de inclinación de los paneles para mantener el suministro de electricidad en época invernal utilizando lo menos posible una fuente energética complementaria, en una región de baja radiación promedio. Se alcanzaron los primeros objetivos en cuanto a la evaluación cuantitativa de dicha mejora a través de mediciones preliminares comparadas, aunque aun resta una significativa tarea de documentación de registros con variaciones angulares mes a mes. Se muestran los avances en la instrumentación del sistema de medición comparativa de potencia y energía generadas por dos juegos de paneles fotovoltaicos, uno con inclinación fija y otro con ángulo adaptable, y algunas dificultades encontradas a partir del análisis de los primeros datos.

REFERENCIAS

Lescano, J., Oliva, R., Cortez, N., Triñanes, P., Lescano, I. (2013) "Diseño e implementación de estrategias para el uso eficiente de la energía solar en aplicaciones fotovoltaicas en sitios aislados de la Provincia de Santa Cruz- Avances" Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 1, pp. 08.71-08.78, 2013 - ISBN 978-987-29873-0-5

Vidal, H., Oliva, R., Gallardo, M.R., Fiorentine, J. (2014) " Sistemas de bombeo eléctrico con energías renovables a nivel productivo en la provincia de Tierra del Fuego / XII Región (Chile) - Primeros resultados." Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 2, pp. 06.97-06.105, 2014 - ISBN 978-987-29873-0-5

IESC (2014) Instituto de Energía de Santa Cruz, Programa PERMER:
<http://www.iesc.gov.ar/iesc/permer.php>

Lescano, J., D'Elia, E., Triñanes, P., Oliva, R. (2008). Estimación de recurso solar en base a tablas y mediciones para un colector solar indirecto para uso doméstico en zonas frías, Comunicación ASADES 2008 – ISSN 0329-5184; vol 12.

Grossi Gallegos, H., Righini, R. (2007). Atlas de Energía Solar de la República Argentina, publicado por la Universidad de Lujan y la Secretaría de Ciencia y Tecnología, 74pp.

Oliva, R. (2012) "Estación meteorológica de construcción modular orientada a la prospección eólica en Argentina", Propuesta de Tesis - Maestría en Energías Renovables, Universidad Nacional de Salta. Inédito

Modbus (2014) Modbus.org: <http://www.modbus.org/specs.php>

ABSTRACT

This paper presents the preliminary results of current and power measurements intended to compare angle effects in two sets of photovoltaic panels, located in a common installation in South Patagonia. The evolution from the first experimental setup, some notable power differences detected in first observations and a series of implementation issues are discussed, as well as the probable sequence of experiments required to establish a usable result in the near future.

Keywords: solar energy, photovoltaic systems, measurement, calibration, data comparison.