

CONSTRUCCIÓN DE UN ADQUISIDOR DE DATOS SOLARIMÉTRICOS *ONLINE* CONFIABLE Y DE BAJO COSTO

Raúl Righini, Julián A. Lell, Pablo E. Ruiz, Sebastián Bazán

Grupo de Estudios de la Radiación Solar (GERSolar), Instituto de Ecología y Desarrollo
Sustentable (INEDES) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) -
Universidad Nacional de Luján (UNLu)

Tel. 02323-440241 – e-mail: raulrighini@yahoo.com.ar

RESUMEN: Las redes de medición de magnitudes físicas asociadas a la radiación solar (en particular la irradiancia global en plano horizontal) requieren habitualmente un presupuesto significativo destinado a la adquisición de instrumentos y al pago de logística y maniobras de instalación en campo. La compra de equipos debe contemplar, además de radiómetros, un sistema de adquisición de datos capaz de digitalizar y almacenar las señales analógicas correspondientes a la irradiancia solar. La conectividad de los adquirentes a una red de datos supone un costo adicional debido a la necesidad de periféricos específicos. En el presente artículo se describe el funcionamiento de un adquirente de datos desarrollado por el GERSolar, de desempeño confiable y bajo costo, el cual permite digitalizar valores de irradiancia y subirlos en tiempo real a un servicio gratuito de almacenamiento en la nube.

Palabras clave: irradiancia solar, adquirente de datos, almacenamiento en la nube.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de adquisición de datos destinados a digitalizar y almacenar datos empíricos (en particular los obtenidos a través de radiómetros solares desplegados en campo) constituyen una parte imprescindible del sistema de medición; es en dicho “sistema” que el radiómetro, la representatividad del sitio de emplazamiento, el mantenimiento planificado y los sistemas de adquisición y procesamiento de datos se constituyen como conjunto de piezas interdependientes, en el cual el correcto funcionamiento de cada elemento es vital para la correcta evaluación del recurso solar.

El adquirente de datos, siendo el elemento encargado de registrar los valores de tensión eléctrica provenientes del radiómetro, debe cumplir varios requisitos para que los procesos de medición, digitalización y almacenamiento de la magnitud física tengan el nivel de calidad requerido para acotar el error asociado a estos datos y ajustarse así a las tolerancias admitidas para la medición de la irradiancia solar con fines científicos.

Si bien el mercado ofrece una gran variedad de adquirentes de datos muy desarrollados y confiables, capaces de satisfacer los requisitos exigidos para las mediciones solarimétricas, los mismos presentan dos características que pueden limitar su uso extendido: en primer lugar, la dificultad y especificidad relativa a su programación y, en segundo lugar, su costo relativamente elevado (comparable o superior al del piranómetro, elemento principal del sistema de medición).

Como alternativa a los modelos comerciales actualmente existentes, se diseñó y construyó un adquirente de datos basado en un microcontrolador moderno de costo reducido, asociado a una unidad GPS para la determinación de la hora exacta, un módulo ADC (*analog to digital converter*) independiente para digitalización de señales analógicas y una unidad de grabación en tarjeta SD.

MATERIALES Y MÉTODO

La plataforma de *hardware* seleccionada ha sido la placa de desarrollo ESP32 S2 (www.espressif.com). Dicha placa cuenta con un microcontrolador de 32 bits de doble núcleo capaz de operar a una frecuencia

de reloj de 240 MHz, integrando también una memoria flash de 4 MB, conversores analógico digitales (ADC) y digital a analógico (DAC, *digital to analog converter*), puertos de entrada/ salida digitales y una antena de Wi-Fi incorporada, que opera a Wi-Fi de 2,4 GHz, y que le permite conectividad con una red de área local inalámbrica (WLAN).

Los ADC de la placa ESP32 son de 12 bits, y dado que la tensión máxima con la que opera su electrónica es 3,3 V, la resolución máxima que puede obtenerse es de solo 0,8 mV, lo que resulta insuficiente para digitalizar la señal proveniente de piranómetros analógicos cuyas tensiones máximas rondan los 10-12 mV. Debido a que es necesario tener una resolución superior a los valores mencionados para trabajar con este tipo de radiómetros, se optó por usar un ADC adicional (ADS1115), que cuenta con dos canales diferenciales de 16 bits. Dado que uno de los bits se usa para el signo de la señal digitalizada, quedan disponibles 15 bits para subdividir los niveles de tensión; este ADC incorpora también un amplificador de ganancia programable, lo que en su conjunto permite una resolución máxima de 0,0078 mV, más que suficientes para los fines solarimétricos del adquisidor en cuestión. La máxima tensión admisible por canal es, para el mayor rango configurable, de 3500 mV (www.ti.com) y los valores pueden ser tanto positivos como negativos. Todo el adquisidor puede ser alimentado a través de una tensión continua de 5V. En el caso de los adquisidores construidos por nuestro grupo, dicha tensión se obtiene a través del cable de alimentación/ programación de la placa ESP32, obtenida mediante una fuente de 5V de uso común para la recarga de teléfonos celulares.

La fecha y hora necesarias para datar los datos de irradiación solar, obtenidos a través de un módulo GPS Neo6 Ublox (www.u-blox.com), son enviadas periódicamente a la placa ESP32 mediante una conexión serial. La unidad grabadora/ lectora de tarjeta SD es empleada para almacenar todos los valores digitalizados, cumpliendo una función de respaldo y buffer de los datos que serán subidos a la nube. Los componentes del sistema y su interconexión se encuentran representados en la Figura 1.

Dado que la placa ESP32 está garantizada para su uso continuo por al menos 12 años (<https://www.espressif.com/en/products/longevity-commitment>), que las tarjetas SD garantizan su uso continuo por al menos 10 años y que las unidades GPS como las empleadas se garantizan por al menos 8 años de uso continuo, consideramos que el adquisidor construido deberá superar los 8 años de vida útil, con expectativas ciertas de superar, la mayoría de las veces, los 10 años de funcionamiento.

El adquisidor se programa (más adelante se explicará cómo) con una ventana de muestreo determinada. El módulo ESP32 registra valores numéricos una vez por segundo, aproximadamente, hasta alcanzar un número de mediciones adecuado para la ventana establecida, y luego obtiene el valor medio correspondiente a este conjunto de valores. Seguidamente, los datos son almacenados en la tarjeta SD y subidos a la red por medio del enlace Wi-Fi, almacenándose en una planilla GoogleSheet (servicio online gratuito de Google LLC), que por sus características puede ser configurada para graficar los datos, promediarlos, etc., con todas las facilidades que este tipo de herramienta permite. La dirección a la que se suben los datos es obtenida desde un *script* específicamente escrito en la planilla; este *script* es configurado para representar los datos medidos en mV (en ambos canales del adquisidor), y la fecha y hora correspondientes a cada promedio almacenado. Los datos minutales así subidos están desde ese momento disponibles para ser consultados desde cualquier sitio donde se cuente con una conexión a internet.

En lo que se refiere a la interfaz de usuario física, la placa ESP32 cuenta con un indicador LED, el cual es utilizado para brindar información sobre dos eventos: conexión a la red wifi y estado de medición. Cuando el adquisidor busca la red configurada, el LED parpadea rápidamente; se realizan 3 series de 50 intentos de conexión, y al finalizar cada serie el adquisidor se reinicia automáticamente para realizar un nuevo intento. Si luego de las 3 series no se logró la conexión, el adquisidor comienza la rutina de medición almacenando los datos en la tarjeta SD que posee. Cuando la secuencia de medición comienza (una vez recibida señal de la unidad GPS, lo cual es indicado por un led propio de la unidad), el LED modifica su frecuencia de parpadeo, quedando establecida la misma en 1Hz.

En horarios prefijados, el adquisidor verifica si hay datos en espera para ser subidos a la nube. En caso afirmativo, el adquisidor sube los datos pendientes y luego continúa con la rutina estándar de mediciones programada. De esta forma, el adquisidor procura que toda la información almacenada se encuentre

siempre disponible en línea. Si se pierde la conectividad a internet, los datos serán subidos en cuanto la misma sea reestablecida.

La filosofía de diseño del adquirente tuvo como ejes fundamentales la simplificación del proceso de programación (interfaz de usuario por *software*) y la confiabilidad del sistema de comunicación, de manera que los datos estén disponibles en los intervalos prefijados por los parámetros de configuración.

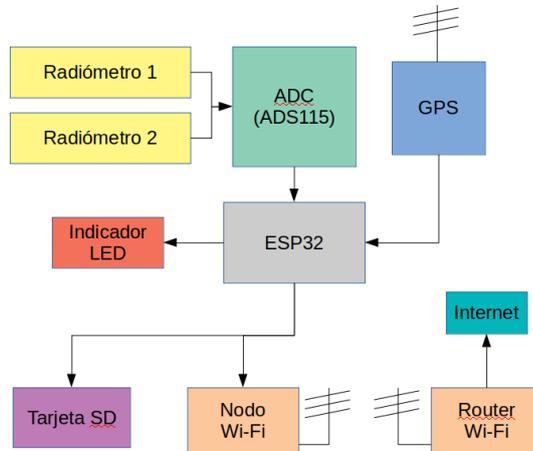


Figura 1: Elementos del sistema e interconexiones.

En la Figura 2 (A, B y C) se presentan los diagramas de flujo para distintas rutinas asociadas a la conectividad Wi-Fi, lectura del módulo GPS, toma de muestras, almacenamiento y subida de datos.

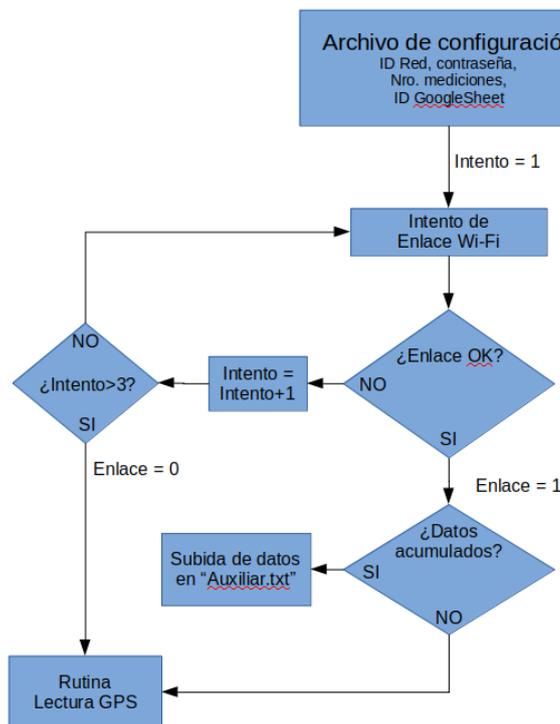


Figura 2A: Esquema del programa, inicio y enlace Wi-Fi.

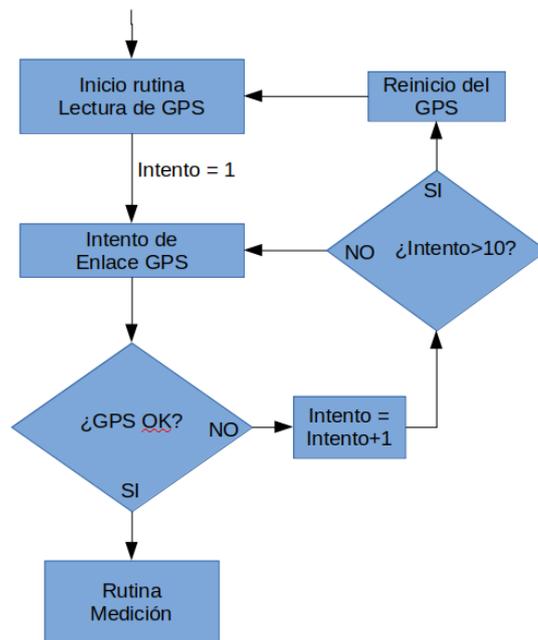


Figura 2B: Esquema del programa, rutina de lectura GPS.

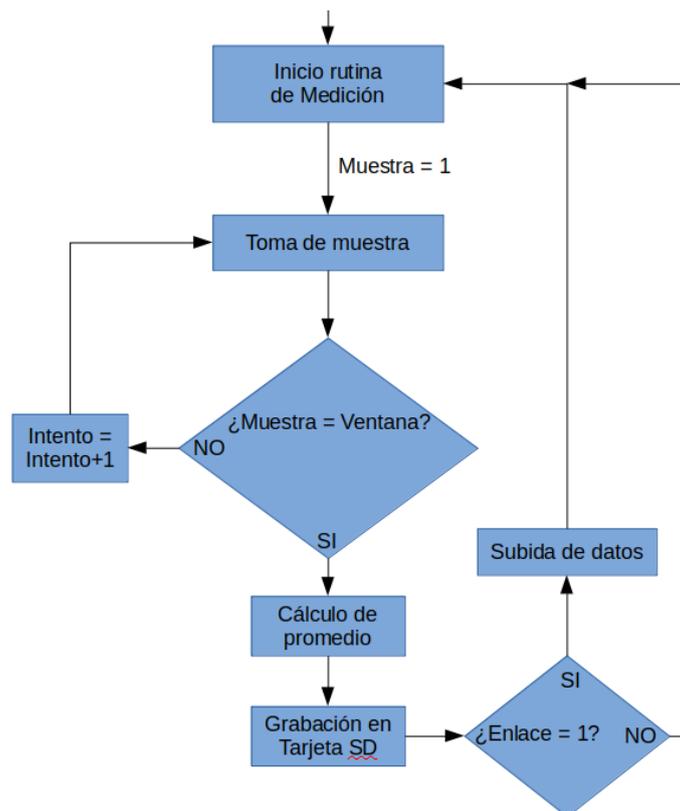


Figura 2C: Esquema del programa, rutina de medición, promedio, almacenamiento y subida de datos.

PROGRAMACIÓN DE USUARIO

Con el objetivo de simplificar al máximo el proceso de configuración del adquisidor, dicho proceso consiste en la generación de un único archivo de texto sin formato (denominado: “config.txt”), grabado previamente en la tarjeta SD, el cual debe escribirse en una PC estándar con programas simples (tales como Notepad, Gedit, Nano, Vim, etc.); este archivo debe contener únicamente cuatro líneas:

- **Nombre de la red Wi-Fi a la que se conectará el adquisidor.**
- **Contraseña de la red Wi-Fi.**
- **Dirección privada de la planilla a la que se subirán los datos (GoogleSheet).**
- **Cantidad de mediciones que habrán de promediarse (1 med./ s).**

A continuación, se presenta un ejemplo del archivo de configuración (“config.txt”):

```
unlu_Campo-Ed.Gersolar
sol3s98
AKfycbyyTREEIHL-Dd1niqUtTO7OTH2pgeMOXMVwiaGPKpJbZifmp42uRVKvz3XtYkkf47HBIQ
60
```

En el caso de que la red Wi-Fi no tenga una contraseña, la línea correspondiente debe dejarse en blanco.

Seguidamente, se muestran, a modo de ejemplo, los datos subidos a la red por la placa, los cuales son tomados por el *script* de GoogleSheet y presentados en la planilla tal y como ejemplifica la siguiente tabla. El formato de fecha y hora es establecido por el *script* escrito para esa hoja, para ser presentado de manera compatible con el formato utilizado internamente en el GERSolar.

Tabla 1: Ejemplo del archivo de salida del adquisidor.

fecha	mv1	mv2	metaParam	metaValue
2022-12-14 14:10:03	8,54	16,99	estación	Lujan
2022-12-14 14:11:14	8,45	16,81	latitud	-34,58815
2022-12-14 14:12:32	8,38	16,67	longitud	-59,06277
2022-12-14 14:13:47	8,37	16,64	altitud	29
2022-12-14 14:14:59	8,28	16,5	gmt	-3
2022-12-14 14:16:18	8,24	16,39	datalogger	DatIn
2022-12-14 14:17:35	8,25	16,44	dataloggerSerie	2203
2022-12-14 14:18:54	8,22	16,35	mv1Sensor	CMP21
2022-12-14 14:20:07	8,22	16,37	mv1Serie	149433
2022-12-14 14:21:24	8,22	16,35	mv1Cte	8,51
2022-12-14 14:22:35	8,27	16,47	mv2Sensor	Global CNEA
2022-12-14 14:23:46	8,28	16,51	mv2Serie	G2021 04
2022-12-14 14:25:00	8,26	16,48	mv2Cte	16,97
2022-12-14 14:26:15	8,18	16,31	Canales	2

Los datos así obtenidos, pueden ser tratados luego para transformarlos en irradiancia incidente sobre el plano de ubicación del radiómetro, simplemente dividiendo cada valor por la sensibilidad del instrumento.

El sistema de subida de los datos a la nube, basado en la herramienta GoogleSheets, permite obtener la mayoría de las funcionalidades de una hoja de cálculo de manera que resulta posible calcular valores medios, integrales, y realizar gráficos de los valores de irradiación actuales y acumulados, entre otras opciones.

ANÁLISIS SOBRE LA MEDICIÓN DE TENSIÓN

Se compararon las mediciones brindadas por el adquisidor con las de un multímetro de banco marca Owon modelo XDM104. Para hacerlo se utilizó una fuente de tensión continua regulable, midiéndose simultáneamente su salida con el multímetro de banco y con el adquisidor, para distintos valores de voltaje establecidos. Se promediaron las mediciones para los dos instrumentos, obteniéndose datos minutales para ambos. Los resultados de las mediciones pueden verse en la figura 3. El error absoluto promedio (tomando como referencia las mediciones del multímetro de banco) fue del 0,32%, mientras que el sesgo promedio fue de -0,32%. La pendiente al origen de la recta de regresión lineal fue 0,9965 y su ordenada al origen 0,0831. El coeficiente de regresión lineal fue muy cercano a 1. El análisis de regresión revela una muy buena linealidad entre las mediciones; al ser el sesgo negativo, pero igual en módulo al error absoluto, sugiere que el adquisidor de GERSolar puede ser fácilmente ajustado para mejorar su prestación simplemente sumando por *software* la ordenada al origen a los datos promediados.

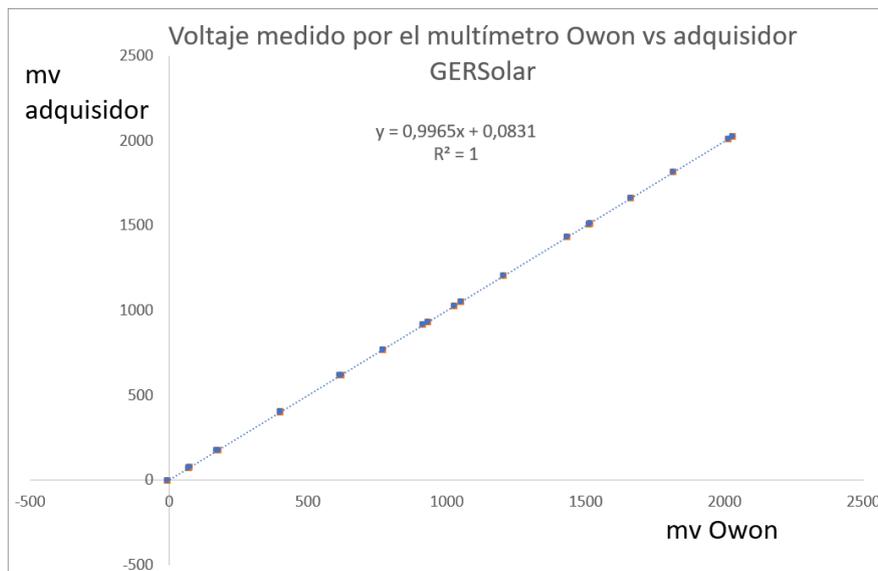


Figura 3: mediciones simultáneas del multímetro de banco y el adquisidor.

COMPATIBILIDAD CON OTROS ADQUISIDORES DE DATOS

Con el objetivo de analizar la compatibilidad del adquisidor desarrollado por el GERSolar con otros adquisidores de datos, se comparó el primero con un adquisidor Campbell Scientific modelo CR800. Ambos instrumentos midieron simultáneamente la señal proveniente de un radiómetro Kipp & Zonen modelo CMP11 durante dos días de noviembre de 2022, en la estación de medición de radiación solar que el GERSolar opera en el predio de la Universidad Nacional de Luján.

La comparación directa de los datos minutales no es sencilla, ya que la base temporal que tienen ambos adquisidores es distinta. En efecto, el adquisidor desarrollado toma datos cada 1 segundo, aproximadamente, promediando los datos cada 60 mediciones. Posteriormente, el proceso de carga de los datos en la red requiere un tiempo que puede variar, dependiendo del estado de la conexión del enlace Wi-Fi y de la velocidad del proveedor de acceso a internet. Por este motivo los promedios calculados pueden desfasarse respecto a los tomados en minutos exactos por el adquisidor CR800. Para que la comparación pueda ser realizada es necesario minimizar este efecto, y es por eso que se recurre a los promedios horarios, donde el mencionado desfase reviste menor importancia.

Los gráficos de las comparaciones entre promedios horarios muestran una muy buena correlación lineal entre los promedios del CR800 y del adquisidor desarrollado. El valor de los coeficientes de correlación $R^2 = 0,9996$ en ambos casos lo muestra. En la figura 4 se muestran los resultados para ambos canales del adquisidor desarrollado.

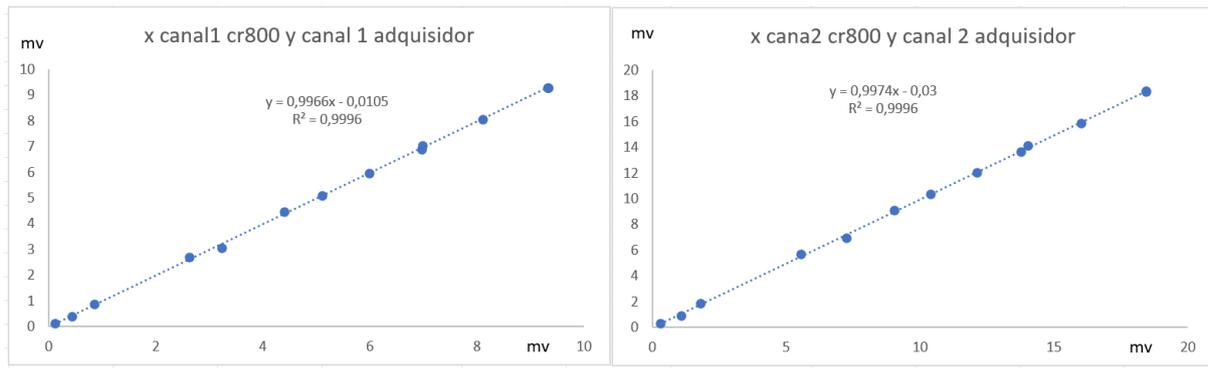


Figura 4: Desempeño del adquisidor desarrollado para el registro de promedios horarios, en referencia a un adquisidor Campbell Scientific CR800. Las diferencias porcentuales promedio fueron de 1,07% para el canal 1 y 1,15% para el canal 2.

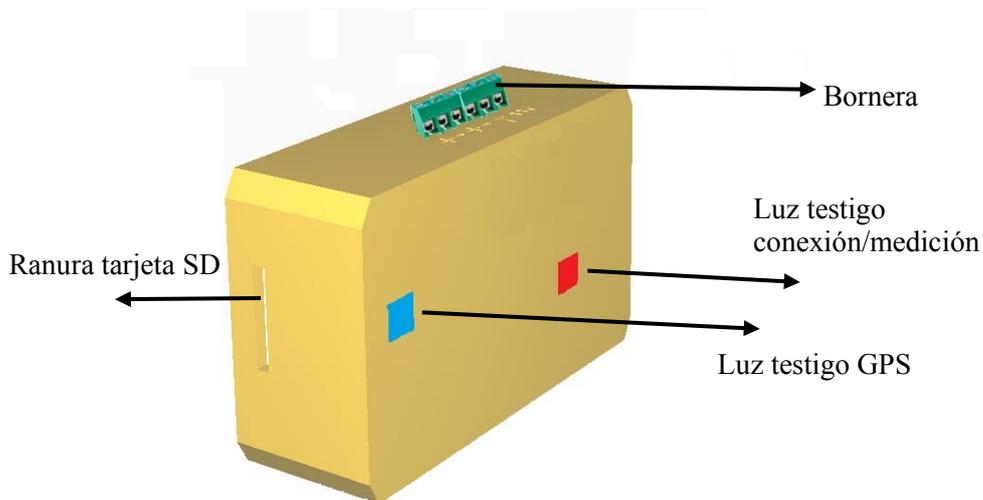


Figura 5: Representación del adquisidor desarrollado. Nótese que el instrumento presenta luces testigo para informar sobre el estado de conexión, medición en curso y disponibilidad de la señal de GPS.

CONCLUSIONES

La construcción de un adquisidor de datos de dos canales, confiable y de bajo precio, se revela como una alternativa viable en vistas a dotar de este tipo de instrumental a estaciones solarimétricas. El adquisidor desarrollado ha demostrado un buen funcionamiento durante los ocho meses que lleva en funcionamiento en la estación Luján y los seis meses de instalación en la estación Armstrong. Un error esporádico se presenta cuando el adquisidor sube datos pendientes a la red. En muy pocas ocasiones se pierde la fecha y hora del primer dato subido. No obstante, la baja frecuencia de aparición de ese error (un minuto cada dos o tres días) permite directamente eliminar el dato de ese minuto particular sin que ello represente una pérdida de sensible de información.

Durante este período considerado, el adquisidor ha brindado mediciones de tensión de bajo error para señales provenientes de radiómetros, presentando también la posibilidad de acceder a los datos en tiempo real a través de internet. Esta última no es una característica menor, habida cuenta de la necesidad

de que las mediciones de irradiancia estén disponibles de forma inmediata, a fin de ser empleadas en algoritmos de pronóstico de la radiación solar a corto plazo.

El resultado de la comparación de las prestaciones del adquisidor desarrollado con un adquisidor comercial profesional demuestra que el uso del primero es una alternativa válida, dado su bajo costo, la facilidad de su configuración y la capacidad de subir datos a la nube.

REFERENCIAS

Sistemas Espressif

Dirección URL: <https://www.espressif.com/en/support/download/other-tools?keys=&field_type_tid%5B%5D=624/>

Texas Instruments

Dirección URL: <<https://www.ti.com/product/ADS111/>>

u-blox

Dirección URL: <<https://www.u-blox.com/en/>>

BUILDING A RELIABLE AND LOW-COST ONLINE SOLARIMETRIC DATALOGGER

ABSTRACT: Parameter measurement networks associated with solar radiation (particularly global radiation) usually entail high installation costs, associated, in addition to the specific cost of the radiometers, to the value of the data collectors in charge of storing the information. Connecting the loggers to a data transmission network also implies an additional cost associated with the peripherals required for this purpose. This article describes the operation of an acquirer developed by GERSolar, with good performance and low cost, which allows digitizing the data provided by a radiometer and uploading them to the network in order to monitor radiation levels in real time.

Keywords: solar energy, solarimetry, datalogger.