

SISTEMA DE MONITOREO Y REGISTRO AUTOMÁTICO DE PARÁMETROS PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS

Juan J. Rodríguez¹, Ernesto J. Perino², Daniel A. Perelló³, Roberto M. Murdocca⁴.

Laboratorio de Electrónica, Investigación y Servicios (L.E.I.S.) - Laboratorio de Energía Solar y Medio Ambiente - Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales - U.N.S.L.
Tel. 2664530000 -int. 6119, e-mail:jjrelectronics@gmail.com, ejperino@unsl.edu.ar, adp2006@gmail.com, mmurdocc@unsl.edu.ar.

Recibido 13/08/18, aceptado 24/09/18

RESUMEN: El proyecto contempla el diseño de un dispositivo que permite el monitoreo y registro automático de datos completamente autónomo, funcional y muy económico de una instalación solar aislada. Este tipo de instalación solar fotovoltaica permite la generación de electricidad para el consumo directo de una vivienda unifamiliar que se encuentra aislada de cualquier suministro de red eléctrica. Se eligió como unidad de procesamiento una placa Arduino UNO por su bajo costo y gran versatilidad. Adicionalmente a la placa Arduino UNO se utilizó una placa Data Loggingshield, la misma es la encargada de registrar los datos, almacenarlos en una tarjeta SD, sincronizados en fecha y hora de manera de llevar un perfecto registro de lo que está sucediendo en todo momento en la instalación. Los datos monitoreados de la instalación solar son tensión continua, corriente continua, tensión y corriente alterna (RMS), para determinar fallas del sistema o contemplar futuras garantías.

Palabras clave: energía solar, tecnología fotovoltaica, Arduino.

INTRODUCCION

Como las instalaciones solares aisladas se encuentran muy alejadas y es muy difícil realizar un seguimiento de los equipos instalados, se desarrolló un prototipo de sistema de monitoreo que permita sensar diversos parámetros (tensión e intensidad del inversor, batería, etc.), almacenando los mismos en una memoria SD por largos períodos de tiempo, luego de haberse instalado el equipo en el campo.

Al poder realizar un rastreo del sistema a lo largo del tiempo, se puede determinar fallas producidas por el usuario o por los propios componentes de la instalación.

De esta manera se pueden cubrir garantías, o en caso de ser necesario mejoras en la instalación para evitar futuros desperfectos.

Desarrollar un prototipo de un sistema de monitoreo de parámetros cada cierto período de tiempo (Oppenheim y Willsky, 1998), debe tener la capacidad de recopilar datos automáticamente las 24 horas del día, permitiendo obtener una visión global y precisa de las condiciones de uso de una instalación solar fotovoltaica aislada, con el objetivo de poder determinar posibles fallas ya sean del sistema o humanas para cubrir garantías de los equipos instalados en el lugar.

Objetivos Específicos del Proyecto

Los principales requisitos que debe cumplir este sistema son:

Gran autonomía de funcionamiento: El sistema debe funcionar durante largos periodos de tiempo, sin la necesidad de intervención por parte del usuario. En la actualidad, estos sistemas pueden ser alimentados en forma permanente (24hs) de varias maneras: fuente de alimentación externa, baterías, dispositivos de alimentación portátil o conexión USB, en nuestro caso se alimentará de la misma batería de la instalación solar fotovoltaica.

¹Profesional independiente.

²Investigador U.N.S.L.

³Investigador U.N.S.L.

⁴Investigador U.N.S.L.

Almacenamiento de datos no volátil: Los datos deben ser guardados de forma permanente, de manera que sigan estando disponibles ante fallos, averías o caídas de tensión. Es decir, los datos no deben necesitar energía alguna para mantenerse almacenados (Wakerly,2006).

Captura de datos:Se utilizan sensores analógicos y digitales mediante los cuales el sistema puede obtener los datos, procesarlos y almacenarlos en una tarjeta SD.

Alcance y limitaciones

El sistema de monitoreo descrito puede medir, convertir y almacenar datos cronológicamente con fecha y hora en una tarjeta SD. Estos datos son:

Tensión de panel solar.

Corriente del panel solar.

Tensión de la batería de ciclo profundo.

Corriente de la batería de ciclo profundo.

Tensión de entrada CC del inversor.

Corriente de entrada CC del inversor.

Tensión de salida AC (RMS) del inversor.

Corriente de salida AC (RMS) del inversor.

Tensión de la línea de iluminación de la vivienda.

Corriente de la línea de iluminación de la vivienda.

La gran ventaja de este sistema, radica en que no es necesaria una configuración previa, ya que funciona de manera automática al conectar la alimentación, permitiendo así que la instalación del sistema sea muy sencilla.

Finalmente, si el usuario detecta un error, necesitará de una PC para poder conectarse al puerto serie o a la memoria SD y leer así información detallada del problema.

DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE UTILIZADO

Se va describir en forma general los componentes empleados para desarrollar un sistema de monitoreo y registro automático de parámetros de una instalación fotovoltaica aislada.

Para hacer la aplicación más compacta, se van a registrar los datos sensados en una memoria SD, obteniendo así un sistema completamente autónomo, funcional, configurable y muy económico.

Desarrollo

Los 3 dispositivos que forman parte de este prototipo son: Placa Arduino Uno. Placa Data LoggingShield con RTC (real time clock) y memoria SD. Placa shield con sensores de tensión y corriente.

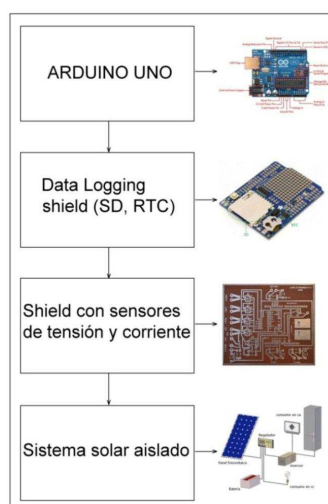


Figura 1: Esquema del sistema.

La placa Data Loggingshieldes una expansión muy interesante de la plataforma Arduino. Este Shield incorpora un reloj de tiempo real (RTC). Permite grabar archivos de registro en una tarjeta SD de hasta 32GB, formateada en FAT16 o FAT32, agregando una enorme capacidad de almacenamiento a los

proyectos. Al mismo tiempo, dispone de un área experimental en el circuito impreso para circuitos auxiliares.

Características

Circuito adaptador de nivel 3.3V, para simplificar la interfaz con micros de 5V sin riesgo de dañar la SD y, además, sirve como tensión de referencia estable.

Reloj de tiempo real (RTC) con batería de litio incorporada para mantener fecha y hora actualizada (hasta dos años de durabilidad).

Disponibilidad de librerías de código para la SD y el RTC.

Área de prototipos para soldar conectores, circuitos y sensores.

Regulador de tensión incorporado de 3.3V para alimentar la tarjeta SD.

Funciona en Arduino UNO, Duemilanove, Diecimila, Leonardo o ADK/Mega R3 o superior.

En la Figura 2 puede observarse el diagrama circuital de la placa Data LoggingShield.

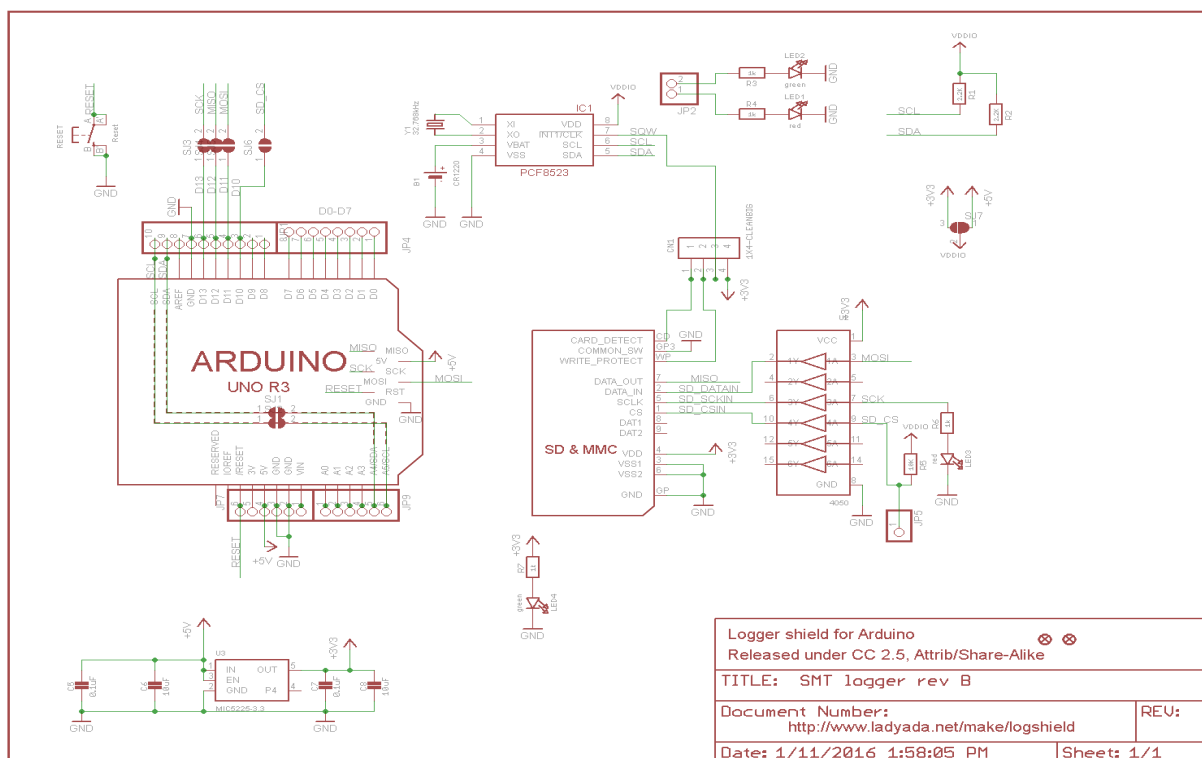


Figura 2: Diagrama circuital Data LoggingShield.

Esta placa de diseño propio tiene la capacidad de medir tensiones e intensidades en continua y alterna (Malvino y Bates, 2007), de los equipos que forman parte de una instalación solar aislada de la red eléctrica que se detallan a continuación: Panel solar fotovoltaico, inversor, batería y circuito de iluminación de la casa.

En la Tabla 1 podemos ver las funciones que posee dicha placa shield.

Desarrollo Placa Shield para el sensado de tensión y corriente

Sensores

Los sensores siempre que estén activados, estarán sensando continuamente la situación actual del sistema y, la placa Arduino es quien leerá dicha información y decidirá cómo proceder. Pueden ser digitales o analógicos.

Función	Características
Voltímetro DC Casa	Esta entrada cuenta con un divisor de tensión. El fondo de escala es de 17V con una resolución de 16,6mV.
Amperímetro DC Casa	Esta entrada cuenta con un sensor de corriente ACS712-30A. El fondo de escala es de 2,5A con una resolución determinada por el sensor de 66mV/A.
Voltímetro DC inversor	Esta entrada cuenta con un divisor de tensión. El fondo de escala es de 17V con una resolución de 16,6mV.
Amperímetro DC Inversor	Esta entrada cuenta con un sensor de corriente ACS758-100B. El fondo de escala es de 60A con una resolución determinada por el sensor de datos de 20mV/A.
Voltímetro AC inversor	Esta entrada cuenta con un divisor de tensión. El fondo de escala es de 260V con una resolución de 0,26V.
Amperímetro AC Inversor	Esta entrada cuenta con un sensor de corriente ACS712-30A. El fondo de escala es de 4A con una resolución determinada por el sensor de datos de 66mV/A.
Voltímetro DC Batería	Esta entrada cuenta con un divisor de tensión. El fondo de escala es de 17V con una resolución de 16,6mV.
Amperímetro DC Batería	Esta entrada cuenta con un sensor de corriente ACS758-100B. El fondo de escala es de 60A con una resolución determinada por el sensor de 20mV/A.
Voltímetro DC Panel Solar	Esta entrada cuenta con un divisor de tensión. El fondo de escala es de 25V con una resolución de 24,41mV.
Amperímetro DC Panel Solar	Esta entrada cuenta con un sensor de corriente ACS712-30A. El fondo de escala es de 8A con una resolución determinada por el sensor de datos de 66mV/A.
Tiempo de almacenamiento	90 Días

Tabla 1: funciones de la placa shield.

Desarrollo Placa Shield para el sensado de tensión y corriente

Sensores

Los sensores siempre que estén activados, estarán sensando continuamente la situación actual del sistema y, la placa Arduino es quien leerá dicha información y decidirá cómo proceder. Pueden ser digitales o analógicos.

Los digitales tienen que ser inicializados como pin de salida con el método `pinMode` (`numeroDePin`, `OUTPUT`). Para poder obtener una lectura de los datos se emplea el método `digitalRead` (`numeroDePin`). Los analógicos no requieren esta fase de inicio y para leer se utiliza `analogRead` (`numeroDePin`). Es recomendable asignar a una variable la lectura recibida por ambos métodos, para evitar tener que llamar a la misma función en caso de necesitarse nuevamente la magnitud previamente adquirida.

Sensor de corriente ACS712ELCTR-30A-T

Para el sensado de corriente se usó el ACS-712ELCTR-30A-T, que es un sensor de efecto Hall. En este tipo de sensores al fluir un campo magnético en dirección vertical al sensor, y ante la circulación de corriente crea un voltaje de salida. La ventaja principal del uso de este tipo de sensor es que no tiene influencia en el camino de la corriente, ya que no es necesario colocar ningún elemento resistivo, pues la medición es de tipo magnética.

Además, este sensor proporciona soluciones económicas y precisas para el sensado de corriente tanto alterna como continua en sistemas industriales, comerciales, y de comunicaciones.

El ACS712 entrega una tensión de salida que varía linealmente con la corriente sensada.

Sus características principales

Tensión de aislamiento mínima de 2.1 kVRMS desde los pines 1-4 a los pines 5-8.

Tensión de salida proporcional a la corriente AC o DC sensada.

Offset de tensión de salida extremadamente estable.

Histéresis magnética casi nula.

Medición de corriente AC o DC.

Resistencia interna del conductor de 1,2 mΩ.

En la Tabla 2 se muestran las corrientes a medir por este sensor.

Función	Características
Amperímetro DC Casa	Corriente máxima a fondo de escala 2,5A
Amperímetro DC Panel Solar	Corriente máxima a fondo de escala 8A
Amperímetro AC Inversor	Corriente máxima a fondo de escala 4A

Tabla 2: Funciones del sensor ACS712.

Sensor de corriente ACS758LCB-100B-PFF-T

Al igual que el sensor ACS712 descrito con anterioridad, este sensor también proporciona soluciones económicas y precisas para el sensado de corriente AC o DC en sistemas industriales.

El ACS758 es un sensor de efecto Hall muy preciso, lineal de bajo offset, con una pista de conducción de cobre localizada cerca de la pastilla de silicio del sensor de efecto Hall.

La corriente aplicada a través de esta pista de cobre induce un campo magnético el cual es detectado por el sensor de efecto de Hall y convertido en un voltaje proporcional de manera lineal. La exactitud y linealidad es optimizada por medio de la cercanía de la señal de corriente al sensor y a través de la integración de un núcleo ferro-magnético de alto desempeño dentro del encapsulado del Chip ACS758. La fidelidad de este sensor se debe en gran parte a la precisión y bajo off-set con la cual se suministra el voltaje, el cual viene programado de fábrica. La resistencia interna de la sección conductora de corrientes extremadamente baja, siendo 100μΩ su valor típico; esto implica una bajísima pérdida de potencia. Los terminales de la sección conductora de corriente son aislados eléctricamente de los pines del sensor (terminales 1 - 3). Esto posibilita que el ACS758 pueda ser integrado en aplicaciones en las que se requiera aislamiento eléctrico, sin la necesidad de usar optoacopladores (y por ende evitando así los problemas de no linealidad de estos últimos) u otras técnicas de aislamiento costosas. Este dispositivo permite sensar corrientes de operación (DC o AC) de hasta ±200A y su voltaje de operación está en el rango de 3.3V a 5V.

En la Tabla 3 se muestran las corrientes a medir con este sensor.

Función	Características
Amperímetro DC Inversor	Corriente máxima a fondo de escala 60 A
Amperímetro DC Batería	Corriente máxima a fondo de escala 60 A

Tabla 3: Funciones del sensor ACS758.

Acondicionamiento para medir tensión

Para el diseño del divisor de tensión (Malvino y Bates, 2007), hay que considerar principalmente que éste debe consumir una corriente muy pequeña; además, el divisor de tensión debe entregar en su salida un valor máximo de 5v, que es el valor de tensión de operación máximo del conversor A/D interno del arduino.

Puesto que Arduino UNO tiene un ADC (conversor analógico digital) de 10 bits de resolución, tendrá 1024 combinaciones y, el rango de tensión de las placas Arduino es de 5V por defecto, por lo tanto, la resolución del conversor A/D es de 4.882 mV. e utilizó un divisor resistivo para sensarlas siguientes funciones como se muestra en la Tabla 4.

Voltímetro DC Panel Solar

Dadas las condiciones establecidas y considerando que el sistema está diseñado para paneles que entregan una tensión de circuito abierto de aproximadamente 22V en su salida, se establecieron

seguridad 25V como valor máximo de medida del sensor. Es conveniente diseñar un divisor que reduzca la tensión en más de 5 veces, con lo que se tendrá un voltaje máximo de 4.5 voltios en la salida en la condición más desfavorable.

Función	Características
Voltímetro DC Panel Solar	Tensión máxima a fondo de escala 25Vcc
Voltímetro DC Casa	Tensión máxima a fondo de escala 17Vcc
Voltímetro DC Batería	Tensión máxima a fondo de escala 17Vcc
Voltímetro DC inversor	Tensión máxima a fondo de escala 17Vcc
Voltímetro AC inversor	Tensión máxima a fondo de escala 260Vac

Tabla 4: Medición de tensión mediante divisor resistivo.

Voltímetro DC Vivienda

Ya que la salida de carga del regulador propuesto corta a los 17V, se tomará este valor por seguridad como la tensión máxima de medida del sensor.

Voltímetro DC Batería

Ya que la tensión de carga del regulador es de 14.6V, se tomará 17V como la tensión máxima de medida del sensor.

Voltímetro DC inversor

Ya que la tensión máxima de entrada del inversor antes de cortar por sobretensión es $15.5V \pm 0.5$ entonces se tomará 17V por seguridad como la tensión máxima de medida del sensor.

Voltímetro AC inversor

La tensión máxima de salida del inversor tomada con el osciloscopio es de 246Vac, luego de pasar por el transformador se reduce a 15.5Vac, que se tomara como la tensión máxima de medida del sensor.

Diagrama de Bloques

En la Figura 3 se presenta el diagrama en bloques del sistema de monitoreo.

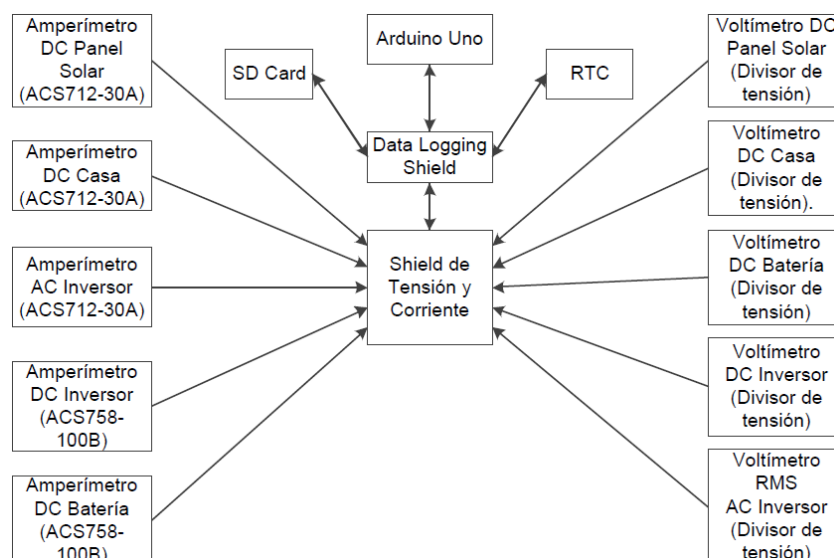


Figura 3: Diagrama en Bloques sistema de monitoreo.

Multiplexor

El uso de varios de los recursos de la placa Arduino requieren de comunicación especial con el microcontrolador. Los protocolos utilizados son SPI e I2C, que van a reservar varias líneas analógicas y digitales para sí.

Concretamente para el presente proyecto, resultan más importantes los pines I/O analógicos, ya que setienen 10 puntos de medida para los sensores de tensión y corriente. Aquí, también entra en juego el protocolo I2C, utilizado para conectar el reloj en tiempo real (RTC).

Este protocolo I2C precisa únicamente dos conexiones a pines analógicos, A4 (SDA-Datos) y A5 (SCL-Clock), de la placa Arduino para poder funcionar. Teniendo en cuenta que Arduino UNO posee 6 pines I/O analógicos, quedan libres 4 de ellos. Dependiendo de la aplicación a desarrollar, puede ser suficiente tener 4 puntos de medida con 4 sensores, pero quizás resulten insuficientes en otro caso.

Para solventar este contratiempo, se emplea la multiplexación de una de las entradas analógicas (A2) de la placa. Utilizando un multiplexor de propósito general controlado por software, pueden conectarse más sensores, que serán leídos de forma secuencial. Así, se incrementan considerablemente los puntos de medida disponibles y se evita tener que adquirir una placa con mayor número de entradas.

El multiplexor empleado es el 74HC4051, con encapsulado PDIP (Plastic Dual in line Package) de 16 pines y 8 canales de entrada. Con él se pueden recibir las señales de 8 sensores y procesarlas a través de una sola entrada analógica.

En la Figura 4 se exhibe el conexionado mediante el multiplexor 74HC4051 a las distintas entradas sensadas (DC), usando sólo el puerto analógico de entrada A2 y 3 puertos digitales para la selección.

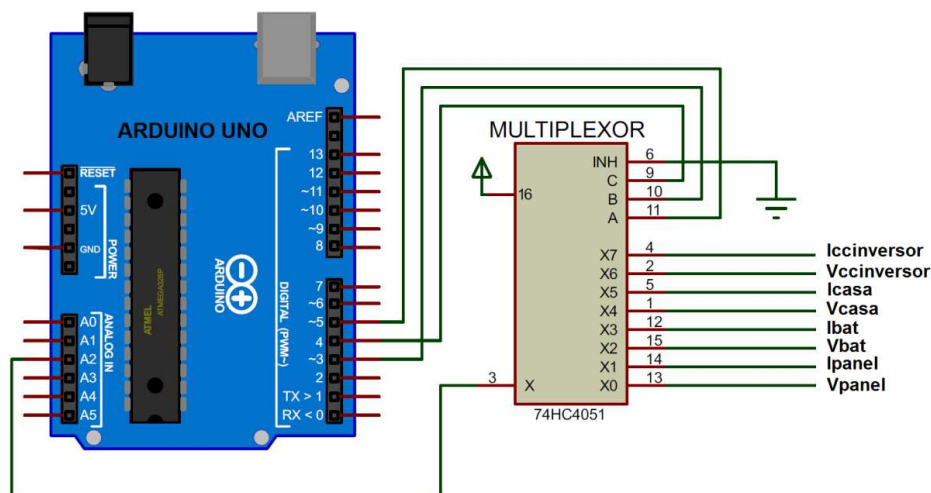


Figura 4: Conexión de sensores mediante multiplexor con Arduino Uno.

Reloj en tiempo real (RTC)

Con el objetivo de documentar perfectamente las medidas tomadas por el registrador de datos, se hace imprescindible el uso de un reloj en tiempo real. Este permite registrar la fecha y la hora durante años de forma independiente al funcionamiento de Arduino, es decir, que después de ser configurado por primera vez, no será necesario volver a hacerlo.

Además, el reloj debe respaldarse con una batería de botón de 3.3V, la cual permite que cuando la placa Arduino pierda la alimentación, el reloj pueda seguir de forma independiente su conteo. De este modo cuando se vuelva a requerir la fecha y hora, el reloj estará completamente actualizado.

El reloj en tiempo real (RTC) utilizado, está basado en el chip DS1307, presentado en encapsulado SOIC (Small Outline Integrated Circuits) con 8 pines de conexión. Es un chip de bajo consumo, ofrece reloj y calendario codificado en BCD (binary coded decimal) y, además, posee un pequeño espacio de memoria SRAM de 56 bytes.

Sus características técnicas principales

Cuenta de segundos, minutos, horas, día, mes y año (también bisiesto).

56 bytes de memoria SRAM.

Interfaz de comunicación I2C (SDA y SCL).

Señal cuadrada de salida opcional (SQW).
Bajo consumo en modo respaldo con batería.
Rango temperaturas de operación -40°C a +85°C.

Memoria SD

En un sistema de monitoreo y registro de parámetros, se hace casi imprescindible disponer de algún dispositivo de almacenamiento masivo que permita recoger y guardar todos los datos de forma segura y estable. El dataloggingshield para Arduino empleado dispone de una ranura para tarjetas de memoria SD, lo cual lo hace muy conveniente de ser usado en el presente proyecto.

Placa Shield finalizada

Dicha placa se diseñó y simuló con PROTEUS (García Breijo, 2008; Gallardo Puertas, 2015), que es una de las herramientas más completas para diseñar y simular circuitos electrónicos.

La Figura 5 muestra la placa shield de tensión y corriente terminada, a la izquierda el lado TOP de la misma donde se observan los sensores de corriente ACS758, el multiplexor 74HC4051 y el optoacoplador 4N35; a la derecha se muestra el lado BOTTOM en donde se aprecian los sensores de corriente SMD ACS712 y el puente rectificador SMD MB10F.

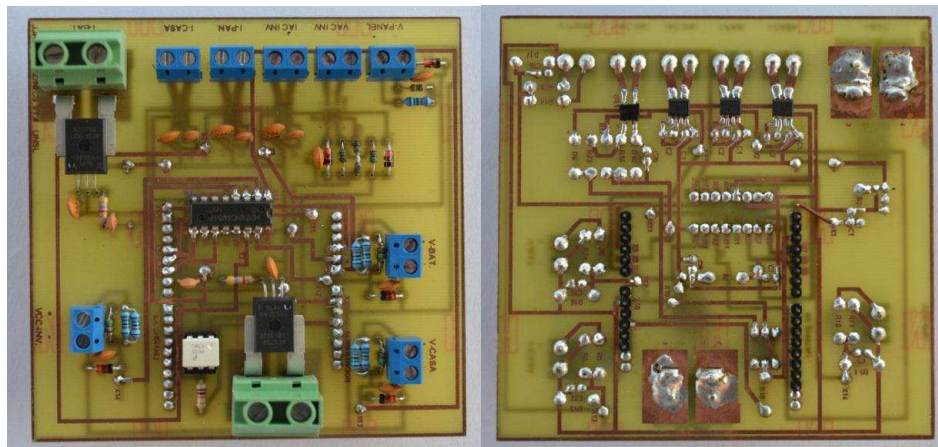


Figura 5: (Izq.) Lado TOP placa. (Dcha.) Lado BOTTOM Placa.

Hardware completo de adquisición

En la Figura 6 se exhibe el montaje de la placa shield de tensión y corriente de diseño propio sobre la placa Data Loggingshield y arduino UNO. Se destaca la tarjeta SD de almacenamiento de datos.

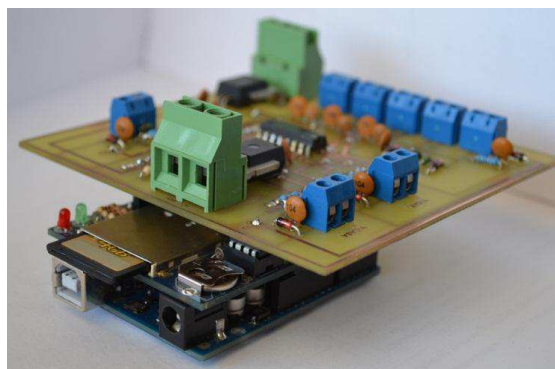


Figura 6: Prototipo finalizado.

SOFTWARE ARDUINO

La plataforma Arduino posee un lenguaje propio que está basado en C/C++ y por ello soporta las funciones del estándar C y algunas de C++ (Ruiz Gutiérrez, 2007). Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino como Java, Processing, Python, Mathematica, Matlab, Perl, Visual Basic, etc. Esto es posible debido a que Arduino se comunica

mediante la transmisión de datos en formato serie que es algo que la mayoría de los lenguajes anteriormente citados soportan.

Es bastante interesante tener la posibilidad de interactuar con Arduino mediante esta gran variedad de sistemas y lenguajes puesto que, dependiendo de cuales sean las necesidades del problema a resolver, se puede aprovechar la gran compatibilidad de comunicación que ofrece.

En la Figura 7 se describe esquemáticamente el funcionamiento del sistema.

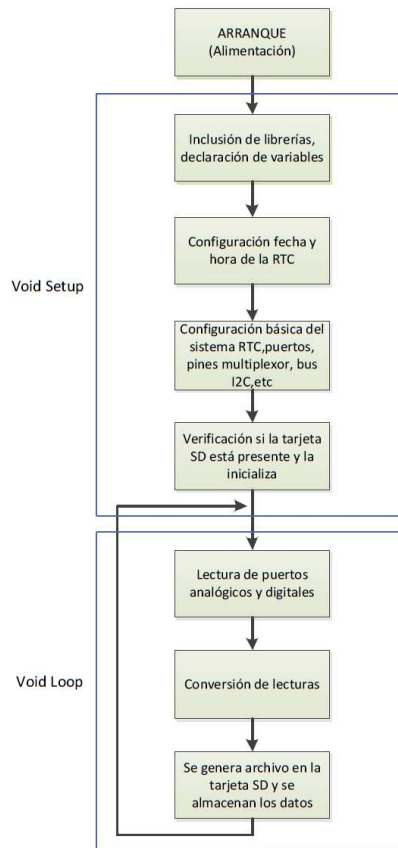


Figura 7: Funcionamiento del sistema.

En el momento de carga del código, se establece la fecha y hora del reloj de tiempo real, a partir de la fecha y hora del sistema operativo. Gracias a una batería, la fecha sigue sincronizada, aunque se apague o se sufran caídas de tensión.

Tras arrancar el sistema, lo primero que se ejecuta es la configuración básica del mismo, es decir la configuración del reloj de tiempo real, la configuración de los puertos como entrada o salida, la configuración de pines del multiplexor y la configuración de bus de datos SPI e I2C.

Luego se verifica si la tarjeta SD está presente y se inicializa para poder ser utilizada.

Se leen las entradas analógicas de la placa Arduino y las configuradas mediante el multiplexor.

Se convierten las lecturas a sus unidades correspondientes.

Se genera el archivo dentro de la tarjeta SD y se almacenan los datos con la fecha y hora.

Se vuelve a tomar la próxima muestra.

Calibración

La calibración de la placa se obtuvo contrastando los valores generados por el sistema de monitoreo y almacenados en la tarjeta SD con un instrumento de medidas de clase superior (Murdocca, 2011).

Los instrumentos empleados para generar las señales de entrada y medirlas fueron provistos por el Departamento de Electrónica - LEIS (Laboratorio de Electrónica, Investigación y Servicios) de la U.N.S.L. y se presentan a continuación.

Fuente de alimentación DC lineal de alta precisión marca SIGLENT modelo SPD3303S (Resolución: Voltaje de 1mV y 5 dígitos, Intensidad de 1mA y 4 dígitos).

Fuente que permite generar las tensiones de las distintas entradas de tensión que tiene el dispositivo.

Multímetro de precisión digital marca INSTEK modelo: GDM-8261^a (6 ½ dígitos de resolución; Exactitud 0,0035% DC, 0,06% AC).
 Multímetro digital marca FLUKE modelo 87V (Resolución: Voltaje de 0,1 mV y 4 ½ dígitos, Intensidad 0,01mA y 4 ½ dígitos).
 En la Figura 8 se muestra la disposición de los equipos de calibración.

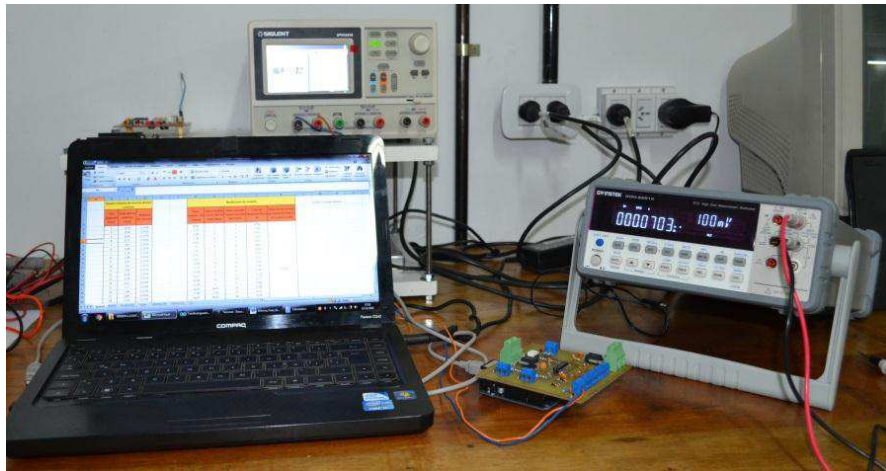


Figura 8: Equipos para la calibración.

RESULTADOS

En la Figura 9 se exhiben las gráficas de los resultados obtenidos para las entradas correspondientes a los sensores de tensión, y en la Figura 10 las pertinentes a los sensores de corriente. Se presentan en gráficas como errores porcentuales (errores relativos porcentuales), entre los valores medidos por la placa y los valores de los instrumentos de precisión.

El error relativo porcentual permite observar fácilmente que tan precisas son las medidas tomadas con el dispositivo de monitoreo respecto de las que se tienen a la entrada de las etapas de acondicionamiento.

Sensores de Tensión

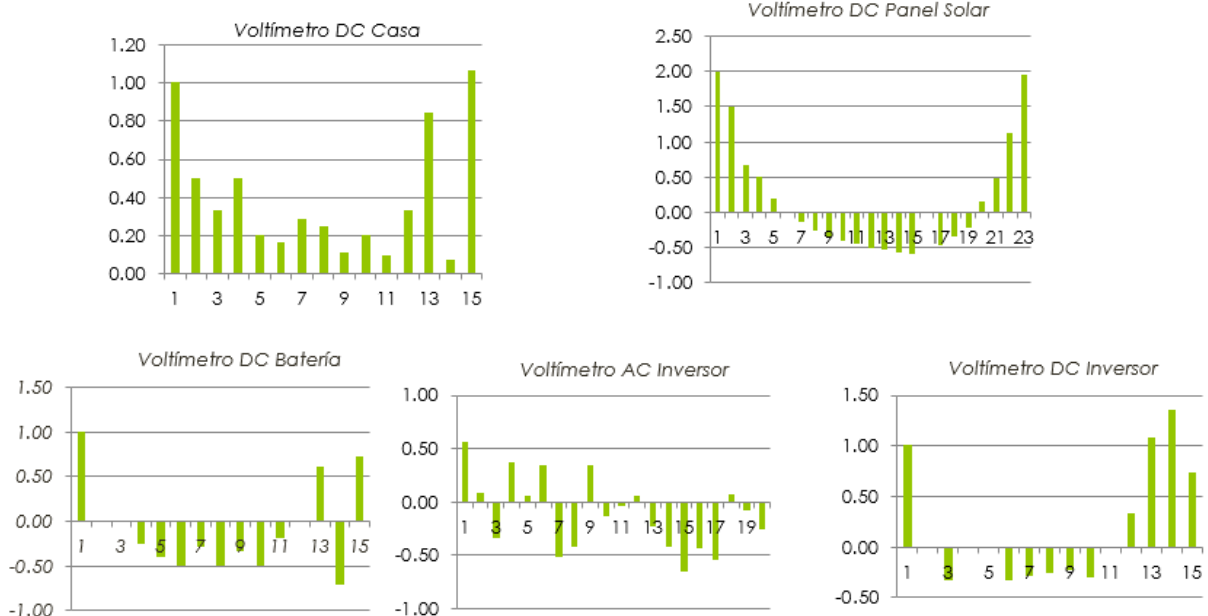


Figura 9: Resultados de los sensores de tensión.

Observando la Figura 9, en la entrada Voltímetro DC casa se aprecia que el error relativo porcentual máximo de la placa presente en este rango de medición (1-17V) es de 1,07% del valor real y el error porcentual promedio es de 0,46% cumpliendo de esta manera correctamente con la especificación planteada para dicha entrada.

En la entrada Voltímetro DC Panel Solar el error porcentual promedio es de 0,26%; en Voltímetro DC Batería el error porcentual promedio es de 0,00%; en Voltímetro AC Inversor el error porcentual promedio es de 0,11%; y en Voltímetro DC inversor el error porcentual promedio es de 0,26%.

Sensores de Corriente

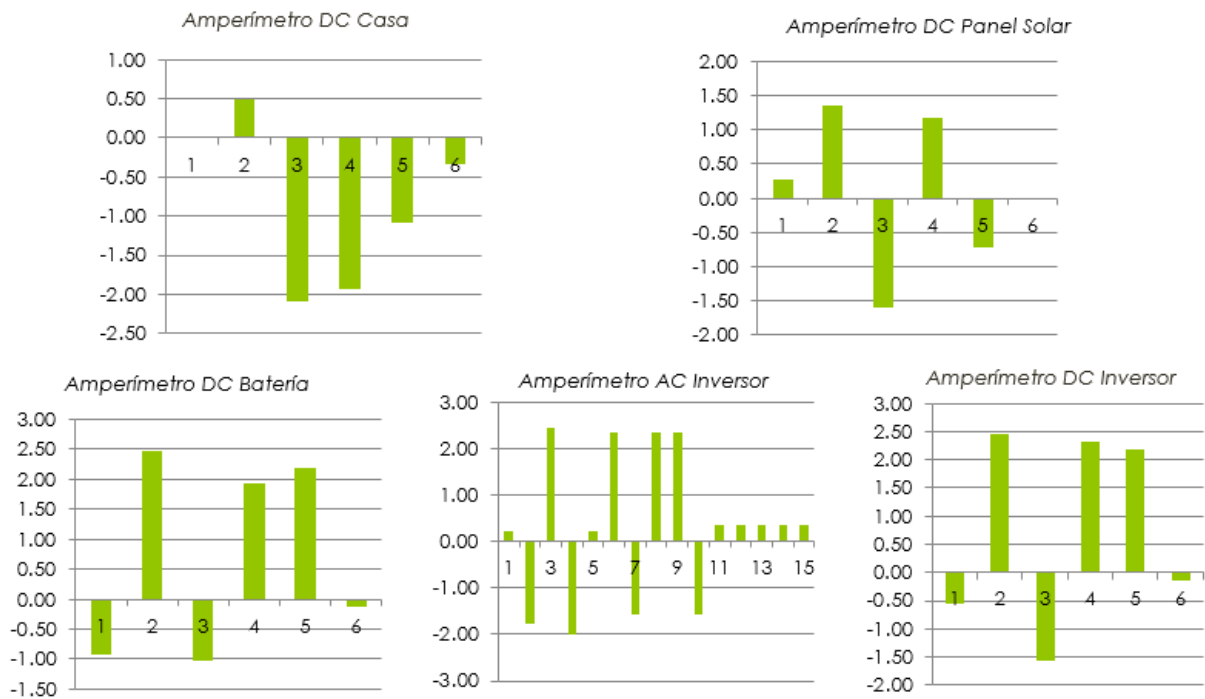


Figura 10: Resultados de los sensores de corriente.

Observando la Figura 10, en la entrada Amperímetro DC Casase aprecia que el error porcentual promedio es de 0,83% y el error porcentual máximo de la placa presente en todo el rango de medición es de 2,08% del valor real, cumpliendo de esta manera correctamente con la especificación planteada para dicha entrada.

En la entrada Amperímetro DC Panel Solarel error porcentual promedio es de 0,08%; en Amperímetro DC Batería el error porcentual promedio es de 0,75%; en Amperímetro AC Inversor el error porcentual promedio es de 0,32%; y en Amperímetro DC Inversor el error porcentual promedio es de 0,79%.

Almacenamiento tarjeta SD

La idea del proyecto es poder acceder a la información a través de cualquier dispositivo, por lo tanto, se tomó la decisión de trabajar con archivos cuya extensión sea .txt, ya que con cualquier editor de texto se puede visualizar su contenido.

El string de datos contenido en la tarjeta SD se ordena en forma de filas y columnas de modo que al almacenar cada muestra se hace de la siguiente manera: Fecha, hora y seguida la información de cada sensor, como se puede ver en la Figura 11.

Fecha	Hora	Vpanel	Ipanel	P_Panel	Vbat	Ibat	P_Bat	Vcasa	Icasa	P_ilum	Vccinv	Iccinv	Pin_inv	Vacinv	Iacinv	Pout_inv
2016/12/14	18:52:45	25.17	0.14	3.55	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016/12/14	18:52:47	25.17	0.01	0.17	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016/12/14	18:52:50	25.17	0.08	2.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016/12/14	18:52:52	25.20	0.07	1.69	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016/12/14	18:52:55	25.17	0.07	1.69	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016/12/14	18:52:58	25.17	0.08	2.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016/12/14	18:53:00	25.14	0.07	1.69	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2016/12/14	18:53:03	25.17	0.08	2.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 11: Resultados almacenados en la tarjeta SD.

Para poder determinar el tiempo máximo de almacenamiento con una tarjeta de 4GB se dejó funcionando el prototipo durante 24hs, tomando muestras cada 8 segundos y se obtuvieron más de 10000 valores almacenados en la tarjeta de memoria SD, los mismos ocuparon un total de 935KB (0,935MB) de memoria.

Con una memoria de 4GB (4096MB) y con dicho tiempo de muestreo (Oppenheim y Willsky, 1998), se puede almacenar aproximadamente 4380 días, lo cual equivale a 12 años de almacenamiento, cumpliendo ampliamente con la especificación planteada.

CONCLUSIONES

El prototipo desarrollado permite la medición de tensión y corriente de cualquier dispositivo que se ajuste a las condiciones eléctricas establecidas para su correcto funcionamiento. Por consiguiente, se obtuvo un dispositivo versátil, capaz de almacenar datos con información de hora y fecha por largos períodos de tiempo en una tarjeta SD.

Los resultados, en cuanto a error en las medidas, han superado ampliamente expectativas en cuanto a los objetivos planteados inicialmente, logrando así diseñar un equipo apto para el sensado de datos de una instalación solar fotovoltaica aislada.

REFERENCIAS

- Alan V. Oppenheim & Alan S. Willsky, "Señales y Sistemas" 2da Edición, Prentice Hall, 1998.
- John Wakerly, "Diseño Digital, Principios y Prácticas", 3ª Edición, Prentice Hall México, 2006.
- Albert Malvino y David J. Bates, "Principios de Electrónica", 7ª Edición, Editorial McGraw Hill, 2007.
- Eduardo García Breijo, Manual de Proteus, "Compilador C CCS y Simulador Proteus para microcontroladores", Primera Edición, Editorial Alfaomega, 2008.
- Gallardo Puertas, Omar, "Fabricación de placas de circuito impreso con Proteus", Tesis de Grado, Universidad de Valladolid, 2015.
- José Manuel Ruiz Gutiérrez, "Arduino: Manual de Programación", First Edition, Creative Commons 3.0 License, 2007.
- Miguel A. PerezGarcia, "Instrumentación Electrónica", Editorial Thomson, 2004.
- Roberto Martín Murdocca, "Instrumento de Medición Múltiple", Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Luis, 2011.
- User Manual, "SPD3000 Series, Programmable DC Power Supply", 2012.
- User Manual, "Fluke 80 Series V Multimeter", May 2004 Rev.2, 2008.

ABSTRACT: The project contemplates the design of a device that allows the automatic monitoring and recording of data completely autonomous, functional and very economical of an isolated solar installation. This type of solar photovoltaic installation allows the generation of electricity for the direct consumption of a detached house that is isolated from any electricity grid supply. An Arduino UNO board was selected as the processing unit due to its low cost and great versatility. In addition to the Arduino UNO board, a Data Logging shield was used, it is in charge of registering the data, storing them in an SD card, synchronized in date and time in order to keep a perfect record of what is happening at all times in the installation. The monitored data of the solar installation are direct voltage, direct current, voltage and alternating current (RMS), thus determining system failures or contemplating future warranty.

Keywords: solar energy, photovoltaic technology, Arduino.