

# ADQUISIDOR DE BAJO CONSUMO PARA SEGUIMIENTO DE SISTEMAS AUTONOMOS: EXPERIENCIA DE SU INSTALACION EN UNA ESCUELA RURAL

G. Casaravilla, J. Luján, R. Normey, J. Oliver

Instituto de Ingeniería Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República Oriental del Uruguay

Julio Herrera y Reissig 565  
Montevideo 11300- Uruguay  
tel: +598 2 710974, Fax: +598 2 717435  
Email: gcp@iie.edu.uy juanh@iie.edu.uy rafa@iie.edu.uy jpo@iie.edu.uy

## **RESUMEN**

*El presente trabajo describe la realización de un adquisidor de datos de muy bajo consumo especialmente diseñado para supervisar una instalación eléctrica doméstica solar, eólica o una combinación de ambas. Se describe además la experiencia de la instalación del mismo en una Escuela Rural electrificada con energía solar, y se analizan los primeros datos obtenidos, así como la performance del adquisidor.*

## **1. INTRODUCCION**

La Administración de Usinas y Transmisiones Eléctricas del Estado (UTE) decidió suministrar electrificación a Escuelas, Policlínicas y Puestos Policiales ubicados en zonas rurales alejadas de la red eléctrica. Para ello suscribió un convenio con el Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería, que consistió en la especificación de los sistemas [1]. Actualmente ya se han realizado instalaciones de sistemas fotovoltaicos en más de 30 Escuelas Rurales, y se prevé continuar con la instalación de sistemas fotovoltaicos, eólicos y combinación de ambos de acuerdo a las características de demanda de cada usuario.

Con la finalidad de realizar una supervisión de estas instalaciones de decidió incorporar en algunas de ellas equipos de adquisición de datos. Si bien se conocen las características de los distintos elementos que componen una instalación de este tipo (paneles, baterías, aerogenerador, inversor, etc), resulta de gran interés evaluar el comportamiento de la instalación completa alimentando a un usuario real, lo que permitirá analizar la performance del sistema.

Es importante observar que si bien en el mercado existe una gran variedad de equipos adquirentes, casi ninguno de ellos cumple el requisito de ser un equipo de muy bajo consumo (menor a 1 Watt), característica imprescindible dada la naturaleza de la fuente de energía. En virtud de lo anterior y valorando el hecho de contar con un equipo hecho "a medida" de las necesidades del sistema,

se optó por el diseño y construcción del mismo por parte del Instituto de Ingeniería Eléctrica.

## **2. CARACTERISTICAS DEL EQUIPO**

El adquisidor fue diseñado para ser instalado en una vivienda o establecimiento rural cuya única fuente de energía eléctrica es un conjunto de paneles fotovoltaicos y/o un generador eólico. La configuración básica general de dicha instalación así como la conexión del adquisidor a la misma se describen en la figura 1.

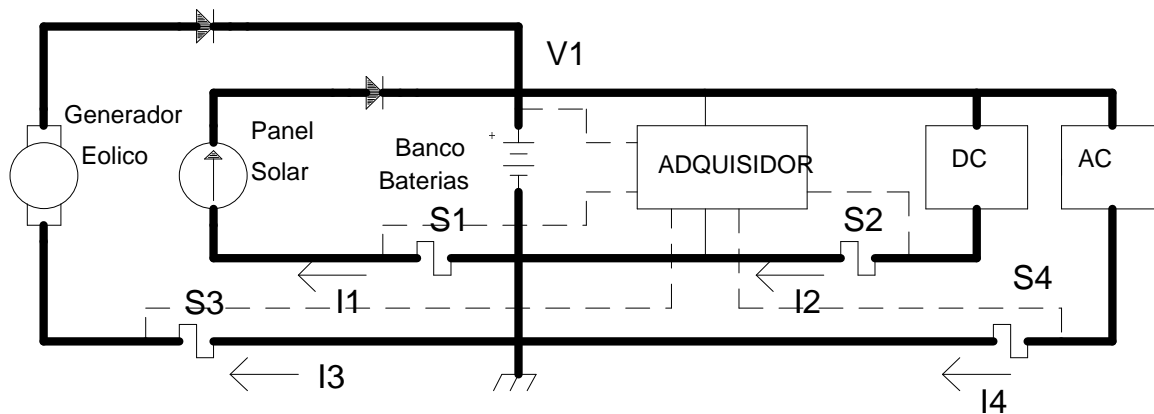


Figura 1. Diagrama general de toma de señales de corriente y tensión

El equipo construido, fue configurado para adquirir las siguientes magnitudes: 4 corrientes (2 del sistema fotovoltaico y 2 del eólico), tensión del banco de baterías, flujo solar (piranómetro), 2 temperaturas (de panel y ambiente) y velocidad de viento (anemómetro).

Los shunts S1 a S4 permiten medir las corrientes I1 a I4 respectivamente, a partir de dichas corrientes y la tensión V1 en bornes de la batería se deduce la potencia consumida por el usuario así como la potencia entregada por los paneles y el generador eólico al banco de baterías.

La medida de flujo solar se realiza mediante la utilización de un piranómetro, el cual se ubicara en las cercanías del conjunto de paneles fotovoltaicos.

Tanto los sensores de temperatura como el de flujo solar, proporcionan un tensión proporcional a la magnitud a medir.

La velocidad del viento es medida con un anemómetro, con salida en frecuencia, esta es la única entrada digital al equipo adquisidor.

En base al registro y posterior procesamiento de las magnitudes medidas se puede realizar un balance energético de la instalación y deducir por lo tanto el rendimiento real de la misma. Se puede obtener también la curva de demanda del usuario.

Como se aprecia en la figura, el adquisidor se alimenta directamente del banco de baterías, siendo este su única fuente de energía. A partir de la tensión disponible en el mismo, el equipo genera todas las tensiones necesarias para su funcionamiento y el de los sensores.

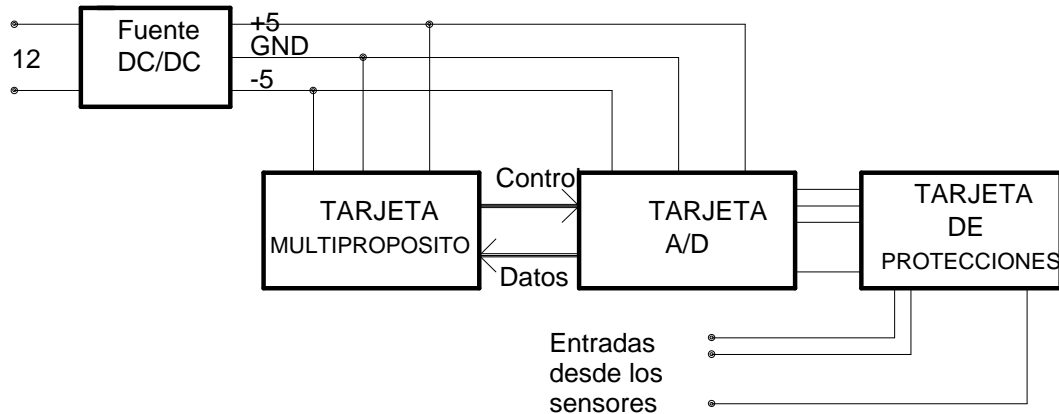


Figura 2. Diagrama general del adquisidor

Cada una de las señales analógicas mencionadas, es adquirida un vez por minuto, cada hora se realiza un promedio y se almacena el resultado. Por lo tanto los datos finales son los promedios horarios de las magnitudes mencionadas.

En el caso de la medida de la velocidad del viento, se cuentan en forma continua los pulsos enviados por el anemómetro durante los primeros 10 minutos de cada hora.

El equipo posee un "autonomía en memoria" superior al mes y medio.

Para la recolección de los datos residentes en la memoria del adquisidor, es necesario concurrir al establecimiento, con un computador IBM compatible dotado de interfase serie RS 232 y el software de comunicación específico del equipo. Mediante este software, el operador podrá en forma "amigable" : recolectar los datos almacenadas.

Es importante resaltar que el equipo es totalmente flexible, tanto en el tipo de señales a adquirir como en el formato de almacenamiento y forma de promediar los datos.

En el paquete de software asociado al adquisidor, se dispone de un programa conversor de archivos, que permite convertir el archivo de datos suministrado por el adquisidor, a un formato de fácil procesamiento posterior, mediante la utilización de una planilla de cálculo o software de análisis de datos.

### **3. ARQUITECTURA DEL EQUIPO**

#### **3.1. Hardware del adquisidor**

El equipo adquisidor está formado por cuatro módulos independientes tal como muestra la figura 2. siendo estos: tarjeta de fuente, tarjeta de protecciones y adaptación de entradas, tarjeta A/D y tarjeta multipropósito,

Cada una de estas tarjetas fue implementada bajo la norma EUROCARD.

### **3.1.1. Tarjeta de fuente**

Consiste en una fuente conmutada, la cual permite obtener +/- 5 Volts a partir de la tensión disponible en el banco de baterías de la instalación. Para garantizar su correcto funcionamiento (regulación de las tensiones de salida), la tensión continua a la entrada debe estar comprendida entre + 8 y + 16 Volts DC, lo que cubre ampliamente las variaciones de tensión posibles en un banco de baterías de tensión nominal igual a 12 Volts DC.

La cargabilidad admitida por la fuente es de 2 x 150 mA, manteniendo un ripple menor a 25 mV.

El consumo total de equipo es:

100 mA @ (+ 5 Volt)

50 mA @ (- 5 Volt)

### **3.1.2. Tarjeta de protecciones y adaptación de entradas**

Con el fin de proteger las entradas contra interferencias electromagnéticas, se diseñó una tarjeta que dispone de una "celda protectora" por cada entrada prevista al adquisidor (incluida la de alimentación).

Cada celda protectora, esta formada por un descargador gaseoso, una resistencia de carbón, un condensador cerámico y un tranzorb.

En esta misma tarjeta se implementó, la adaptación de las señales provenientes de los sensores así como los circuitos necesarios para la alimentación de los mismos.

### **3.1.3. Tarjeta conversora A/D**

Esta tarjeta es capaz de muestrear hasta 32 entradas analógicas en modo común o 16 diferenciales, realizando las medidas con escala variable. Esto se logra mediante un amplificador diferencial programable y un conversor integrador de doble rampa con ganancia variable.

Mediante una combinación inteligente de estas posibilidades se puede lograr un sistema con auto escala (de 1 a 5000), auto calibración y programable para trabajar con distintas intensidades de ruido externo.

La precisión de la adquisición es de 1/1000 del fondo de escala. Las medidas se pueden realizar en forma absoluta o relativa con la referencia que se provee internamente o con una externa.

En esta aplicación particular, se utilizaron 8 entradas diferenciales (4 corrientes, 1 tensión, 2 temperaturas y 1 flujo solar) y 3 valores de ganancias distintas en el amplificador de instrumentación (G=1, 16.65 y 99.98), estas ganancias normalizan el fondo de escala de todas las señales adquiridas a 1 Volt.

### **3.1.4. Tarjeta multipropósito**

Esta tarjeta multipropósito utiliza como procesador a un microcontrolador de la familia MCS-51 de INTEL. Básicamente su diseño fue realizado para funcionar con el microcontrolador 80C31 de dicha familia.

La tarjeta consta además de 32kB de memoria RAM, hasta 32kB de memoria EPROM para almacenar programas, reloj de tiempo real, sistema de

reset (reset externo , reset desde el reloj de tiempo real y posibilidad de watch dog), cuatro puertos accesibles de 8 bits, bus de direcciones/datos y sus señales de control en un conector, y además posibilidad de comunicación serie RS 232-C a 3, 5 o 7 líneas. Muchas de estas posibilidades son opcionales.

Esta tarjeta es en definitiva la parte "inteligente" del adquisidor y realiza por ende el control de todas las funciones del sistema (control del AD, almacenamiento de datos, mantenimiento de hora y fechas reales, comunicación con el PC para la recolección de datos, etc.).

### **3.2. Software del adquisidor**

Todo el software residente en el equipo, fue desarrollado en assembler MCS-51 de INTEL, los programas de conversión y adaptación de archivos en el PC, se desarrollaron en TURBO C.

El software del adquisidor realiza las medidas analógicas una vez por minuto, efectúa los promedios correspondientes cada 10 minutos y almacena los resultados. Además de esto realiza la medida de viento en los 10 primeros minutos de cada hora.

La comunicación con el usuario se realiza mediante comunicación serie RS-232.

El software implementado, también registra en la memoria del sistema todo evento especial que ocurra, como por ejemplo: cambios de fecha, comienzo de comunicación con el usuario, fin de comunicación con el usuario, ram llena, reset por software del sistema, etc. Este registro de eventos con la fecha y hora en que cada uno ocurrió fue de gran utilidad para realizar la puesta a punto del sistema y actualmente sirve para poder descartar los datos obtenidos si sucedieran cosas no previstas.

Por último cabe resaltar que todo el software fue desarrollado en forma modular, lo que permite en el futuro, realizar fácilmente modificaciones al formato y cantidad de las señales a adquirir.

### **3.3. Especificaciones técnicas**

- Alimentación: + 8 VDC a + 16 VDC (  $V_{nom} = + 12 \text{ VDC}$  )
- Consumo máximo: 1 Watt.
- Entradas Analógicas.
  - 32 en modo común, 16 en modo diferencial o cualquier combinación entre ambas.
- Rango de tensión :
  - 4.2 V a + 4.2 V en modo diferencial.
  - 3.5 V a + 3.5 V en modo común.
- Entradas Digitales.
  - Rango de tensión : 0 a 5 VDC.
  - Niveles lógicos : Standard CMOS (@  $V_{dd} = 5 \text{ Volt}$ )
- Precisión : 1/1000 del F.S.
- Ratings Máximos.
  - Entradas Analógicas: -5 VDC a + 5 VDC
  - Entradas Digitales: 0 a 5 VDC
  - Alimentación: 18VDC

### 3.4. Costos

Adquisidor completo (incluyendo gabinete, sensores de temperatura y shunts)	USD 500
Piranómetro	USD 1500
Anemómetro	USD 300
Mástil	USD 300
Horas hombre	400 Ingeniero
	400 Técnico

## 4. ESCUELA RURAL N° 79

El equipo construido fue instalado en la Escuela Rural N° 79 situada en el departamento de Florida. Esta escuela se encuentra a 15 Km del centro poblado mas cercano y es lugar de residencia de la familia de la maestra (dos adultos y un niño). A esta escuela concurren 9 alumnos de la zona.

En el pasado, la escuela tenía un generador eléctrico a gasolina el cual significaba un consumo de 3 litros diarios de combustible. ( la bomba de agua de la instalación era y sigue siendo alimentada por el generador).

En la actualidad la escuela tiene el sistema fotovoltaico y el generador se utiliza exclusivamente para el bombeo de agua. El consumo actual de combustible es de 1 litro por semana.

### 4.1. Sistema solar instalado

La instalación de dicha escuela está compuesta por un banco de baterías de 430Ah@100h 12V de plomo ácido estacionarias, 5 paneles de 48W, un dispositivo de supervisión y protección de carga-descarga de las baterías, 11 luminarias (alto rendimiento), 3 tomas de 12 VDC y un toma de 220VAC inversor mediante (220VA) para un video con televisor color.

Este sistema fue diseñado con la consigna de tener un déficit energético anual de 10 días con un confianza de 90%. El trabajo [1] y [2] explican la metodología efectuada.

En cuanto a la batería utilizada se diseñó con un coeficiente de utilización de 30%, por lo que resulta 3.3 veces mas grande de los Ah necesarios. Con esto, tal como se muestra en el trabajo [1] y [3], se aumenta la vida de la batería y disminuye el costo asociado del sistema.



Figura 3. Tensión de batería y radiación global

#### 4.2. Instalación del adquisidor

Las magnitudes medidas son la tensión y corriente de batería, la corriente de los consumos de DC, la corriente de los consumos de AC, la temperatura del panel, la temperatura ambiente a la sombra del panel y la velocidad del viento a 10 metros de altura.

El regulador empleado en la instalación fotovoltaica para proteger la sobrecarga de la batería, presentaba la dificultad de cortar el retorno de tierra por lo que no se pudo intercala el shunt de medida de la corriente del panel. Por otra parte se midió y registro la corriente de batería (situación no prevista en la configuración inicial mostrada en la figura 1). A la vista de los primeros resultados, y de algunas dificultades constatadas, entendemos aconsejable medir todas las corrientes del sistema y utilizar la ley de Kirchoff para verificar la consistencia de los datos.

#### 4.3. Datos registrados

En la figura 3 se observa la tercer semana del mes de setiembre de 1994 conjuntamente con la irradiación global. Se aprecia la actuación del regulador limitando la sobrecarga de la batería como asimismo la no carga de la misma cuando hay poca irradiación global durante dos días.

La figura 4 muestra la velocidad de viento registrada en el mismo mes.

Esta primer curva de viento obtenida en el lugar podría hacer pensar que futuras ampliaciones del sistema puedan ser realizadas agregando un aerogenerador, observando la buena velocidad media registrada. Hay que tener en cuenta que el registro es hasta ahora de muy corta duración y setiembre es un mes estadísticamente ventoso.

Con respecto a los registros de las corrientes sensadas, debido a problemas en la instalación de los shunt de medida, los datos carecen de la confiabilidad suficiente. Este problema ha generado algunas modificaciones, las cuales ya se han implementado y se esperan los resultados correspondientes.

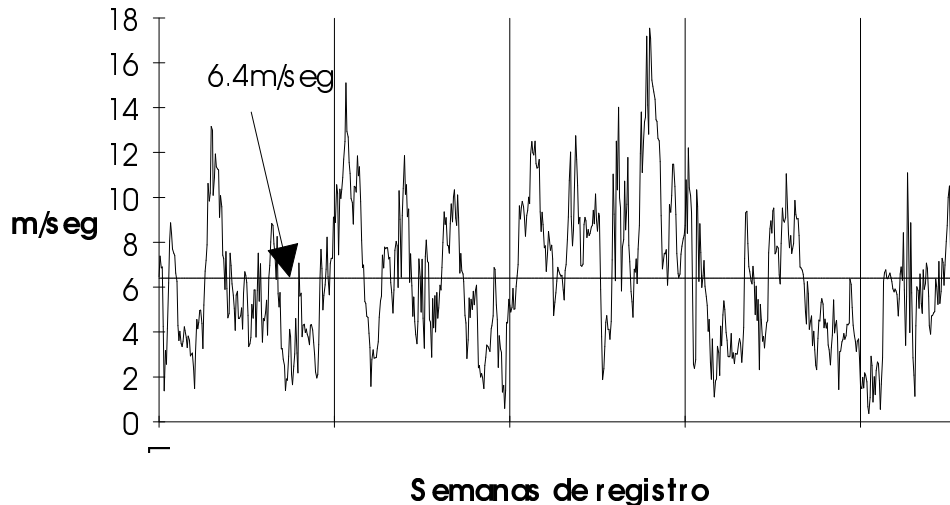


Figura 4. Velocidad de viento (medias horarias)

## **5. CONCLUSIONES**

Se logró diseñar y construir un equipo de muy bajo consumo, capaz de adquirir y registrar todas las magnitudes que caracterizan a una instalación generadora mixta (eólica y fotovoltaica).

El diseño del adquisidor, su instalación y el análisis de resultados reales ha dejado una gran experiencia para futuros desarrollos.

La totalidad del hardware y software empleado en el equipo, fue desarrollado en el Instituto de Ingeniería Eléctrica, lo que permite elegir y adecuar la forma de realizar las medidas así como realizar adaptaciones para nuevos requerimientos o para diferentes instalaciones.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

[1] - APLICACION DEL RECURSO SOLAR EN LA IMPLEMENTACION DE ALTERNATIVAS PARA LA ELECTRFICACION RURAL". Convenio entre la Administración de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (U.T.E.) y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Julio de 1994

[2] - R. Chaer, R. Zeballos, W. Uturbey and G. Casaravilla, "Simenerg: A novel tool for designing autonomous electricity systems".European Community Wind Energy Conference and Exhibitions, Alemania, marzo de 1993.

[3] - G. Casaravilla, R. Chaer, R. Zeballos, Acumulación de Energía en Sistemas Autónomos: un Criterio Global de Selección de Baterías. 16° Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente ASADES, diciembre de 1993.