

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN REGISTRADOR DE VELOCIDAD Y DIRECCION DE VIENTO PARA LA EVALUACION DEL POTENCIAL EOLICO

Ing. Juan P. Oliver

INSTITUTO DE INGENIERIA ELECTRICA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
MONTEVIDEO - URUGUAY
E-mail: jpo@iie.edu.uy

RESUMEN

El presente trabajo detalla el diseño y construcción de un sistema capaz de registrar velocidad y dirección de viento con características particulares. El equipo fue construido especialmente para ser instalado en localidades remotas sin suministro de energía eléctrica con el fin de evaluar el potencial energético de origen eólico de una zona determinada. Debido a esto hubo que cumplir requisitos de diseño físico para soportar condiciones de intemperie, autonomía tanto energética como en capacidad de almacenamiento de los datos adquiridos y condiciones en la forma de efectuar las medidas. Se tuvo especial cuidado en minimizar en todos los aspectos el consumo de energía.

A fin de poder estudiar en profundidad las características del viento, las medidas se toman una vez por segundo y se almacenan todos los valores sin efectuar promedios.

La gran cantidad de datos a almacenar y la necesidad de que el consumo sea mínimo llevó a la utilización de una arquitectura mixta que consta de una unidad de adquisición y control especialmente diseñada para esta aplicación y un computador que almacena los datos en medio magnético.

El equipo actualmente se encuentra funcionando con resultados satisfactorios.

ABSTRACT

This paper details the design and construction of a system to registrate the wind speed and direction with special characteristics.

The equipment was specially constructed to work in remote places without electrical power supply to evaluate the eolic energetic potential of a determinated area. This restriction determined the following design characteristics: energy autonomy, high amount of data storage, power saving policies in measurements procedures, and physical design to support external weather conditions.

Special care was taken to minimize in all aspects the power consumption.

The measurements are sampled every second, and each value is stored in order to be able to study completely the wind's characteristics.

An architecture that integrates an acquisition and control unit specially designed for this application and a computer that stores the data in magnetic media was adopted to satisfy low power consumption and high storage capability.

The equipment is working with satisfactory results.

1 ANTECEDENTES

La Administración de Usinas y Trasmisiones Eléctricas le planteó a la Facultad de Ingeniería, en un primer convenio [1], el estudio del potencial eólico nacional, y la factibilidad técnica de su utilización para el suministro de energía al sistema eléctrico. El trabajo realizado, con características de evaluación preliminar, se basó en los registros meteorológicos existentes, que no fueron tomados con propósitos energéticos.

Actualmente se están profundizando los estudios sobre energía eólica (generación autónoma y generación a gran escala) y se hizo necesario contar con la realización de medidas específicamente diseñadas para estos fines.

Como parte del estudio de generación a gran escala se incluyó el diseño y construcción de un registrador de velocidad y dirección de viento específicamente diseñado para estudios energéticos.

2 OBJETIVOS DE DISEÑO Y DESCRIPCION DE LA SOLUCION ADOPTADA

2.1 Objetivos de diseño

Con los registros de velocidad de viento existentes fue posible determinar zonas del país favorables para la posible instalación de granjas de generación eólica. Dichas zonas de topología compleja se modelaron en túnel de viento. Como forma de validar los modelos aplicados y poder estudiar fenómenos de turbulencia se llegó a la conclusión de que era necesario de efectuar mediciones de campo y se determinó que la frecuencia de muestreo de la velocidad fuera un segundo.

El objetivo principal fue diseñar un equipo capaz de medir velocidad y dirección de viento tomando datos una vez por segundo y almacenar la totalidad de los datos obtenidos en un período superior a un mes; para luego ser procesados.

El equipo debía contar además con las siguientes características:

- Autonomía energética para poder ser instalado en zonas aisladas
- Diseño físico para ser instalado a la intemperie.
- Posibilidad de construir localmente en corto

plazo (un año).

- Utilización de transductores comerciales.
- Error en la medida de velocidad menor que 3%.

2.2 Solución adoptada

En primera instancia se pensó en un dispositivo basado en un microcontrolador que cumpliera todas las funciones de medición y almacenamiento de promedios de los datos obtenidos, y que contara con alimentación a batería.

Posteriormente se planteó la necesidad de almacenar la totalidad de los datos muestreados cada segundo; con lo que el volumen de información a manejar llevó a reconsiderar el diseño. Se hizo imperiosa la necesidad de contar con algún medio de almacenamiento masivo de datos, y que el equipo siguiera manteniendo las características de bajo consumo. El estudio de varias posibilidades llevó a una solución mixta, se mantuvo la unidad basada en un microcontrolador para efectuar las mediciones y el control del sistema, de muy bajo consumo, y se incorporó un computador para almacenar los datos. El computador se mantiene apagado la mayor parte del tiempo y solamente entra en funcionamiento cuando se efectúan transferencias de datos.

La solución elegida utilizando un computador del tipo PC laptop como medio de almacenar datos fue comparada con otras posibilidades como utilizar bancos de memoria RAM con respaldo de baterías, RAM cards o EEPROMs. Teniendo en cuenta el costo de desarrollo necesario para utilizar alguna de estas soluciones y los problemas existentes en el país para el desarrollo de hardware (impresos sin orificios metalizados, escasez de componentes, etc.), el bajo costo de los computadores, la característica de prototipo de este equipo y los plazos para su puesta en funcionamiento llevaron a adoptar esta solución que a priori no parecía adecuada. De esta forma se obtuvieron ventajas adicionales desde el punto de vista de la interfase con el usuario, ya que el operador que tendrá que recoger los datos almacenados cuenta con software desarrollado que facilita su tarea.

La energía total la suministra una batería que es cargada por un pequeño panel solar.

2.3 Arquitectura del equipo

El equipo está compuesto principalmente por dos bloques, la unidad de medición y control y el computador, además de los transductores, las protecciones, la batería y el panel. (Ver diagrama esquemático).

La unidad de medición y control (ADQ-31) es la encargada de efectuar las medidas almacenando temporalmente los datos en su memoria local, además de comandar la alimentación de los transductores y del computador. Cuando la memoria local se llena enciende el computador y le trasmite los datos adquiridos hasta ese momento, que son almacenados en medio magnético. De este modo se minimiza el consumo total, ya que el computador que consume unas 50 veces más que el ADQ-31 permanece apagado más del 95% del tiempo.

2.3.1 Unidad de medición y control ADQ-31

El ADQ-31 fue diseñado en el IIE especialmente para esta aplicación pero teniendo en cuenta futuras aplicaciones en el campo de adquisición de datos y control industrial.

Se diseñó una tarjeta multipropósito usando 100% tecnología CMOS basada en el microcontrolador Intel 80C31, con hasta 32K de EPROM y 32K de RAM, puertos de entrada-salida, reloj de tiempo real y un puerto de comunicación serie RS232. Además se incluyeron puertos de entrada salida de baja velocidad expandibles utilizando un bus serie con registros de desplazamiento controlado directamente por tres líneas del microcontrolador.

Tanto en el diseño como en el modo de funcionamiento se tuvo especial cuidado en minimizar el consumo energético.

Debido a su gran flexibilidad el ADQ-31 está siendo usado en otras aplicaciones de adquisición de datos o de control. En la etapa de diseño se optó por conseguir un producto que fuera fácilmente adaptable a otras aplicaciones.

Dentro del gabinete del ADQ-31 hay tres plaquetas auxiliares:

- Una de ellas es para protección de la vida útil de la batería, está realizada con comparadores de bajo consumo que comandan dos MOSFETs, uno que corta la alimentación de los circuitos cuando la tensión cae por debajo de un cierto valor, y el otro desconecta el panel solar si la tensión de batería es excesiva.

- La otra contiene un convertor DC-DC con control on-off remoto que sirve para alimentar el computador (5V) a partir de la batería (12V), pudiendo ser encendido y apagado en forma automática cuando es necesario.

- Por último se incluye otro convertor DC-DC que alimenta el resto de los circuitos.

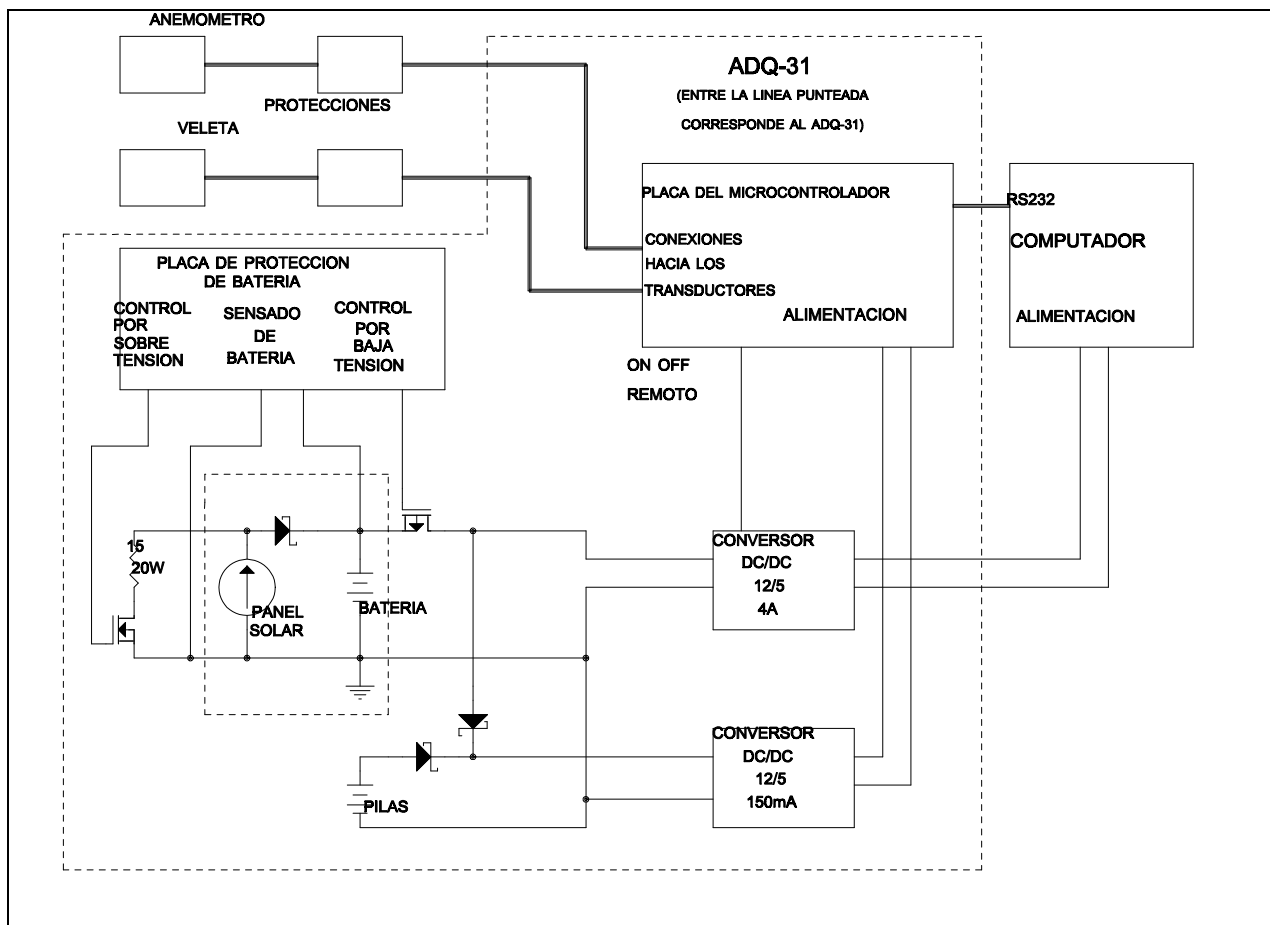
Las líneas de entrada salida están protegidas con descargadores gaseosos y supresores de transitorios.

Todo el sistema ADQ-31 tiene además un respaldo de tres pilas alcalinas que aseguran que no se pierdan datos en caso que falle la batería.

Los datos adquiridos por el ADQ-31 se transfieren al computador cada tres horas aproximadamente y son almacenados en el disco duro del mismo. De esta forma aunque falle la batería los datos ya están respaldados en medio magnético y las pilas alcalinas conservan los datos adquiridos en las últimas tres horas a partir de la última comunicación entre el ADQ-31 y el computador. En caso que las pilas se agoten solo se perderán a lo sumo tres horas de registros. (No se adquieren datos si la tensión de la batería es insuficiente).

2.3.2 Transductores

Para la elección del tipo de transductores se tuvieron en cuenta sus características: constante de distancia, error y linealidad [2], así como su consumo y tensiones de alimentación. Se optó por transductores que tuvieran salida digital para simplificar la electrónica del equipo y minimizar errores que pudieran introducirse en señales analógicas.



2.3.2.1 Transductor de velocidad

El equipo permite la conexión de anemómetros rotacionales de cazoletas con salida en frecuencia. Estos deben poder ser alimentados con tensión de 5V y pueden ser del tipo optoacoplador y disco ranurado o un sistema que al girar cierra contactos de reed relés. Con alguna modificación de hardware se pueden conectar dispositivos que trabajen a otras tensiones entre 5V y 12V.

Actualmente el equipo está trabajando con un transductor Vector Instruments A101M que tiene salida en frecuencia de 10Hz por cada m/s de velocidad de viento, y es del tipo de optoacoplador y disco ranurado. Su precisión es 1% con respecto a su curva de calibración en el rango de 10 a 55m/s y su constante de distancia es 5m/s.

Se eligió 10 Hz por m/s debido a que si bien no se dispone de normas que especifiquen este tipo de salida existen varios fabricantes que proveen anemómetros con dicha salida.

2.3.2.2 Transductor de dirección

El equipo permite la conexión de veletas con salida en código Gray de hasta 8 bits, con las mismas características de tensión de alimentación que en el caso de los transductores de velocidad. Internamente las veletas pueden tener un sensor de posición con optoacopladores y disco ranurado o cierre de contactos por medio de reed relés.

El equipo está trabajando con una veleta Vector Instruments W200G del tipo de reed relés con salida de 4 bits en código Gray. La resolución es 22 grados y medio

con un error de 3 grados.

2.3.3 Computador

Se eligió un computador laptop PC compatible cuyos únicos requisitos son contar con un disco duro de al menos 20 Mbytes y poder encenderlo y apagarlo controlando la alimentación. Este último requisito llevó a instalarlo sin su batería para que al cortar la alimentación en forma remota desde el ADQ-31 el computador realmente se apague.

La tensión de alimentación del computador adquirido es 5V por lo que hubo que intercalar un convertor DC-DC entre la batería y el laptop, este convertor (DATEL UWR-5/4000-D12) provee además de regulación protecciones y control on-off digital.

2.4 Consumo

Dadas las características del equipo el consumo energético fue uno de los puntos más estudiados del sistema por ser una condicionante crítica.

El consumo de la electrónica digital es del orden de 150mW en funcionamiento normal y 4mW en modo de bajo consumo.

La performance total del sistema se ve afectada principalmente por el resto de los elementos del sistema:

- El laptop consume alrededor de 14W aunque permanece apagado el 97% del tiempo.
- El convertor DC-DC que alimenta el laptop tiene un rendimiento del 78% y un consumo en vacío de 60mW.
- El transductor de velocidad consume 100mW y

permanece apagado por lo menos la mitad del tiempo.

- El convertidor DC-DC que alimenta la electrónica digital tiene un rendimiento del 70%.

El consumo promedio de todo el sistema es del orden de 650mW.

La batería (24 Ah) se dimensionó para 20 días de uso continuo sin que el panel solar aporte energía. Esta es una medida un poco conservadora pero usada en la latitud de Uruguay para sistemas pequeños donde el sobredimensionamiento no influye en el costo.

El panel solar es de 7W lo que implica que con un poco más de dos horas diarias de generación a potencia nominal cubre la energía consumida por el equipo. Para una instalación de este tipo en que se trabajará con un ángulo fijo del panel el óptimo es 50 grados dado que con esta inclinación la energía obtenida es bastante uniforme a lo largo del año.

2.5 Descripción del software

El software programado en assembler 8031 se encuentra en EPROM y es el encargado de efectuar las medidas, almacenar los datos adquiridos, verificar el estado de la batería y encender y comunicarse con el computador cuando es necesario. Puede resolver una serie de situaciones que se presenten ahorrando energía cuando la batería llega a su tensión crítica.

Como forma de minimizar el consumo el microcontrolador 80C31 permanece en modo "power down" hasta que el reloj de tiempo real lo "despierta", esto sucede una vez por segundo. El microcontrolador efectúa las tareas de supervisión, comunicación serie en caso que sea necesario, y realiza una medida de velocidad y una de dirección almacenando los datos en memoria interna. Todas estas tareas insumen aproximadamente medio segundo quedando la mitad del tiempo con el consumo al mínimo.

Las rutinas de medida son muy sencillas debido a que la salida de los transductores es digital. La dirección de viento se lee directamente codificada en Gray en uno de los puertos de entrada del ADQ-31. En el caso de la medida de velocidad se reduce a medir la frecuencia de la onda cuadrada que da el transductor, para esto se utiliza uno de los timers internos del 80C31. La salida del transductor de velocidad es 10Hz/m/s, el rango a medir es de 30 Hz a 350 Hz con una precisión en la medida de la frecuencia del 1%. También se efectúan medidas fuera de este rango pero con un error mayor.

La medida de velocidad ocupa 2 bytes y la de dirección a lo sumo 1 byte dependiendo del transductor que se esté utilizando. Esta información se almacena una vez por segundo determinando que la RAM interna del ADQ-31 se llena en tres horas aproximadamente debiéndose efectuar una transferencia de datos hacia el computador. Una mejora a aplicar a corto plazo es utilizar técnicas de compactación de la información, pero para eso es necesario contar con algunos registros para tener conocimiento de las características de la fuente de información.

La rutina de comunicaciones además de interactuar en forma automática con el computador también ejecuta comandos dados por un operador cuando se inicializa el sistema o cuando se efectúa alguna operación de mantenimiento.

Todas las transferencias de datos y de comandos entre el ADQ-31 y el computador se efectúan cumpliendo

con la norma IEC FT1.2 "Telecontrol equipment and systems - Transmission frame Formats" [3], eligiéndose trabajar con un número variable de datos de usuario.

Además de registrar las medidas se lleva un registro cronológico de eventos que permiten detectar fallas, eliminar datos erróneos, supervisar el estado de la batería, indicar los cambios de fecha, indicar si hubo comunicación serie, intervención de un operador, etc.. Cada uno de estos eventos tiene asignado un código. La RAM interna del ADQ-31 es manejada como un solo vector de datos donde se anotan en forma secuencial los valores de velocidad y dirección muestreados cada segundo y los códigos que indican ocurrencia de un determinado evento. A continuación del código de evento se graba la fecha y hora en que el evento ocurrió. De esta forma se puede reconstruir el eje de tiempos de los datos almacenados sabiendo si hubo alguna interrupción en la toma de las medidas.

Este registro de eventos resultó muy útil en la etapa de puesta a punto del sistema y seguramente seguirá siéndolo como forma de detectar posibles fallas y evaluar el funcionamiento final del equipo ya instalado.

En el computador hay dos programas para comunicarse con el ADQ-31: AUTO.EXE que sirve para extraer los datos almacenados en el ADQ-31 en forma automática sin intervención del operador y EOLO.EXE que es un programa interactivo que permite al operador iniciar la adquisición y ejecutar una serie de comandos.

2.6 Diseño físico

El equipo está instalado en un gabinete estanco para intemperie IP-65 según norma DIN 40050.

Debe tenerse en cuenta que el laptop no admite temperaturas elevadas para su correcto funcionamiento por lo tanto en la instalación el gabinete deberá protegerse de la radiación solar en forma directa.

3 CONCLUSIONES

Se ha diseñado y construido un equipo de características poco usuales, ya que los existentes en el mercado no permiten el registro de datos una vez por segundo.

La mayoría de los registradores de velocidad y dirección de viento existentes están diseñados con fines meteorológicos y solo almacenan el promedio de la velocidad en los últimos diez minutos de cada hora. No se tiene información que existan dispositivos que registren velocidad de viento y almacenen todos los datos una vez por segundo. Los registros obtenidos de esta forma son de relevancia cuando se trata de estudiar una localidad con fines energéticos porque permiten estudiar turbulencia y transitorios y cómo estos fenómenos influyen en los aerogeneradores.

El equipo construido posee gran flexibilidad debido a que es completamente programable. Tiene total autonomía energética estando especialmente diseñado para ser instalado en zonas sin electricidad, y el mantenimiento es muy bajo (el único componente que requiere mantenimiento es la batería); pudiendo almacenar datos durante dos meses. Solo requiere que un operador extraiga los datos (copiarlos desde el disco duro a diskette) una vez cada dos meses y controlar la batería.

El equipo fue instalado durante varios meses en el Instituto de Ingeniería Eléctrica en paralelo con otro adquirente a fin de poder contrastar los datos obtenidos por los dos equipos. No se presentaron problemas de ningún tipo y las medidas coincidieron en todos los casos.

En los próximos meses se efectuará la instalación en una de las zonas de interés eólico.

Referencias

[1] "Proyecto de Evaluación del Potencial Eólico Nacional", Instituto de Mecánica de los Fluídos e Ingeniería Ambiental, Instituto de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 1990.

[2] "Power performance testing", Expert group study on recommended practices for wind turbine testing and evaluation, Riso National Laboratory Denmark, Rockwell International USA.

[3] "Telecontrol Equipment and Systems - part 5.1: Trasmision Frame Formats". IEC Technical Commitee No.57: Telecontrol, Teleprotection and Associated Telecommunications for Electric Power Systems. Draft 1988.



Juan P. Oliver nacido el 24 de noviembre de 1963 en Montevideo se ha graduado como Ingeniero Electricista en diciembre de 1989 en la Universidad de la República Oriental del Uruguay. Se ha desempeñado como docente en el Instituto de Ingeniería Eléctrica de dicha Universidad desde 1986 y actualmente tiene el cargo de Profesor Adjunto del Departamento de Control y Electrónica Industrial. Su área de trabajo ha sido en electrónica aplicada, más específicamente en sistemas de adquisición de datos. Actualmente integra un equipo de trabajo en el tema de dispositivos lógicos programables.