

# Diseño de un Sistema de Adquisición de Datos para variables meteorológicas

A. Gutierrez<sup>1</sup>, H. Trujillo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de las Ciencias Informáticas, Departamento de Sistemas Digitales [aihyngf@uci.cu](mailto:aihyngf@uci.cu)

<sup>2</sup> Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Centro de Investigaciones en Microelectrónica [hector.trujillo@electrica.cujae.edu.cu](mailto:hector.trujillo@electrica.cujae.edu.cu)

## RESUMEN / ABSTRACT

Contar con información meteorológica de calidad es imprescindible para el desarrollo del país. Dentro del equipamiento utilizado para el estudio de la atmósfera se destacan las Estaciones Meteorológicas. El costo de las mismas es elevado, limitando la compra de las cantidades necesarias para su uso óptimo en el país. El objetivo del presente trabajo es el estudio de los Sistemas de Adquisición de Datos para variables meteorológicas, como parte fundamental de cualquier estación, y el diseño de una variante propia. La fabricación del diseño propuesto es factible para el país, aumentaría la calidad de los estudios meteorológicos, dándole independencia tecnológica en el área en cuestión.

Palabras claves: Diseño, Estaciones meteorológicas, Sistemas de adquisición de datos.

## *Design of Data Acquisition System for Meteorological Variables*

*Having quality weather information is essential for the development of the country. The equipment commonly used for the study of the atmosphere is the meteorological stations. The cost of these stations is high, limiting the purchase of the amounts needed for optimal use in the country. The aim of this paper is the study of Data Acquisition Systems for meteorological variables, as a fundamental part of any station, and the design of a proprietary variant. The manufacture of the proposed design is feasible for the country, increasing the quality of meteorological studies, providing technological independence in the area in question.*

*Key words: Design, Meteorological stations, Data acquisition system.*

## INTRODUCCIÓN

La meteorología es la rama de la física que estudia los fenómenos que ocurren en la atmósfera y las leyes que lo rigen<sup>1</sup>. Constituye una ciencia necesaria para la humanidad y primordial para el desarrollo de importantes actividades como la agricultura, la navegación, las comunicaciones, entre otras. En Cuba se realizan grandes esfuerzos para suministrar a la población y entidades estatales información meteorológica confiable y oportuna<sup>2</sup>.

Para garantizar un correcto estudio y pronóstico de la situación meteorológica es importante acopiar constantemente un elevado número de datos, sobre el estado de la atmósfera. El desarrollo de la electrónica ha facilitado dicho proceso, evidenciándose en la variedad de equipos e instrumentos utilizados en el mundo para el estudio del clima. Entre las principales herramientas de trabajo que utiliza la meteorología se encuentran las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA), aportando gran parte de la información meteorológica

disponible. La distribución de las mismas en el terreno constituye una de las vías más factible para lograr un estudio adecuado del estado de la atmósfera.

La cantidad de EMA instaladas en Cuba es insuficiente debido al alto costo de estos equipos, por ello, disponer de un sistema propio es una alternativa para asegurar estudios meteorológicos de calidad a costos inferiores. El objetivo del presente trabajo es el estudio de los Sistemas de Adquisición de Datos para variables meteorológicas, como parte fundamental de cualquier estación, y el diseño de una variante propia.

## SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Un SAD está constituido esencialmente por: 1) elemento sensor que transforma los parámetros físicos en señales eléctricas medibles por el sistema de adquisición; 2) bloque para el acondicionamiento de las señales provenientes del

sensor, de forma tal que se ajusten a los exigencias de entrada de la siguiente etapa; 3) bloque de adquisición, destinado principalmente a la conversión de las señales de naturaleza analógica a digital; 4) etapa para el tratamiento de los datos adquiridos (procesamiento, almacenaje) y control del resto de los elementos del sistema; 5) medios de visualización de los datos registrados<sup>3,4</sup>.

En un SAD para variables meteorológicas se debe incluir en el bloque de tratamiento, un dispositivo que indique la hora del día en la que se realiza cada medición. El tiempo es importante en la meteorología, entre otras cosas, para establecer en qué momento ocurrieron los valores extremos de una magnitud determinada. En correspondencia con el nivel de autonomía del sistema, los SAD para variables meteorológicas deben almacenar grandes volúmenes de datos, por lo que la capacidad de memoria del sistema es un elemento a tener en cuenta según la aplicación.

Un aspecto importante de cualquier SAD para variables meteorológicas es la posibilidad de comunicarse con una computadora, permitiendo almacenar gran cantidad de información, hacer estudios en el tiempo y utilizar modelos de pronósticos computerizados. La conexión de un SAD a una computadora no solo brinda acceso a los datos para su procesamiento, también facilita la configuración del sistema por parte del usuario. Algunos ejemplos de lo expresado anteriormente son: establecer la cantidad de entradas que se utilizarán, ajustar los canales de medición en función de los transductores a utilizar, establecer el formato en que se desea visualizar la información, entre otras, todo esto de acuerdo a la versatilidad del propio SAD.

La visualización de la información dependerá de las características del sistema. En el caso que el SAD sea utilizado en una estación portátil, es útil que el medio de visualización (pantalla) sea parte del sistema. Si se emplea en una estación que trabaja la mayor parte del tiempo de forma aislada (autónoma), no será necesario que visualice la información en el lugar, ganando importancia el almacenamiento de los datos y el medio para descargarlos hacia un ordenador.

Debido a la diversidad de variables meteorológicas, situaciones geográficas y climáticas, las estaciones meteorológicas se encuentran divididas comercialmente en dos módulos básicos, permitiendo la configuración de las mismas según las necesidades de cada aplicación. Los sensores meteorológicos conforman el primer módulo, mientras el segundo lo constituye el "Datalogger", (dispositivo que se encarga de adquirir las mediciones, almacenarlas y transmitir las).

#### **Sensores electrónicos para la medición de las variables meteorológicas:**

Las variables meteorológicas son esencialmente variables físicas que caracterizan el estado y los fenómenos que ocurren en la atmósfera. Entre las más representativas se encuentran la temperatura ambiente, la presión atmosférica, la humedad relativa, las precipitaciones, la velocidad y dirección del viento.

El estudio de los sensores electrónicos disponibles en el mercado, para la medición de las variables meteorológicas, arrojó que la tendencia actual de los principales fabricantes es brindar sus productos con un acondicionamiento de las variables medidas, lo que facilita su empleo en diversos sistemas de adquisición<sup>5-9</sup>. Algunos ejemplos se muestran en la tabla 1.

De acuerdo a lo analizado es posible disponer de sensores meteorológicos que incorporan una etapa de acondicionamiento.

#### **Datalogger:**

Los dos primeros elementos de la estructura de un SAD general<sup>3,4</sup>, se integran en la mayoría de los sensores para variables meteorológicas disponibles. El resto de los elementos se ubican en el *datalogger*. El estudio de las prestaciones y características de los *dataloggers* que se encuentran en el mercado, resulta imprescindible para formar un juicio correcto del nivel tecnológico alcanzado por estos equipos.

Entre las principales prestaciones encontradas están<sup>10-13</sup>:

- Entradas analógicas de tensión o corriente con rangos diversos (5 como mínimo).
- Entradas de pulso (al menos 1).
- Entradas/Salidas digitales.
- Interfaz RS232.
- Memoria para almacenamiento de datos desde varios KB hasta algunos MB.
- Intervalos de lectura seleccionables, desde algunos segundos hasta 1 día.

El diseño propuesto debe cubrir al menos las funcionalidades básicas y ser lo suficientemente versátil, para adaptarse a la variedad de sensores para variables meteorológicas existentes. Además, el sistema deberá tener una estructura tal, que permita su utilización en la mayoría de las variantes de estaciones meteorológicas existentes (autónomas, portátiles o con alguna supervisión del hombre).

## **DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DEL SAD PARA VARIABLES METEOROLÓGICAS.**

La estructura del sistema diseñado se corresponde con la de un SAD típico<sup>3,4</sup>, aunque se adicionan algunos elementos necesarios para el procesamiento de las variables meteorológicas medidas (figura 1). El primer elemento del SAD, el sensor o sensores, no forma parte del diseño (cuadros en rojo de la figura 1). El SAD empleará sensores como los presentados anteriormente, los cuales ya incorporan una etapa de acondicionamiento. De esta forma, el diseño del bloque de acondicionamiento de las señales del SAD se simplifica, solo será necesario realizar mínimos ajustes de las señales provenientes de los transductores para adaptarlas a las especificaciones del SAD.

Para la adquisición de las variables meteorológicas se propone la utilización de un multiplexor analógico con el objetivo de emplear un solo conversor Análogo/Digital (A/D). El

tratamiento de las variables y control del sistema está a cargo de un microcontrolador, el que utilizará un reloj de tiempo real para registrar el instante en que se realizan las mediciones. Los datos son almacenados en una memoria externa.

Para la visualización de la información, en el caso que lo requiera, se propone la utilización de un bloque de interfaz compuesto por un teclado y una pantalla LCD gráfica. Finalmente a través de las interfaces USB y RS232 el sistema podrá comunicarse con una computadora.

## ACONDICIONAMIENTO

### Canales analógicos:

Los sensores que se emplearán en el SAD entregan principalmente señales de corriente de 4-20mA o de tensión en varios rangos, generalmente en el orden de los volts. El bloque de acondicionamiento de las señales diseñado para el SAD tiene en cuenta dichas características, su función es únicamente ajustar las señales de los sensores al rango de tensión requerido a la entrada del conversor A/D (de 0 a 5V).

El SAD cuenta con ocho canales analógicos, cada uno de ellos podrá recibir señales de corriente o tensión, configurable por el sistema mediante interruptores digitales. La manipulación de los interruptores es realizada por el microcontrolador a través de un decodificador.

El componente central de la etapa de acondicionamiento es un amplificador operacional en configuración no inversora. La ganancia del amplificador será regulada a través de un potenciómetro controlado digitalmente. Con el empleo del potenciómetro se consigue un rango de ganancia para el operacional desde 1 hasta 11 (con incrementos de 0.1). Cada canal analógico empleará un potenciómetro para ajustar de forma independiente su ganancia, por ello se incluye en el diseño un decodificador para la selección del potenciómetro a ajustar. De esta forma se economizan terminales del microcontrolador.

### Canales de frecuencia y de pulso:

El SAD cuenta con dos canales para registrar señales digitales, que podrán utilizarse para medir frecuencia (período). Entre los transductores que podrían acoplarse a estos canales, están los de velocidad del viento. Además se incorpora un canal que permite contar pulsos. La principal utilidad del mismo es posibilitar la conexión de un pluviómetro del tipo cazoletas basculantes, para contar directamente la cantidad de veces que se vuelcan los recipientes.

En total el sistema es capaz de realizar mediciones de hasta 11 variables meteorológicas simultáneamente (8 analógicas y 3 digitales).

## ADQUISICIÓN, TRATAMIENTO Y TRANSMISIÓN

Para realizar las tareas de procesamiento y control de todos los bloques del SAD se emplea un microcontrolador. A partir del análisis de varios aspectos de diversos microcontroladores, para el diseño del SAD que refiere el presente trabajo, se

seleccionó el microcontrolador PIC18F4550<sup>14</sup> de la gama alta de Microchip.

Las características que más influyeron en su selección son:

- Interfaz USB (full speed).
- Dispone de múltiples fuentes de interrupción con prioridades:
- 3 fuentes de interrupción externa.
- Desbordamiento de los temporizadores/contadores.
- Interrupciones provenientes de la interfaz USB.
- Cambio en el estado de las líneas 4, 5, 6 y 7 del puerto B.
- Conversor A/D de 10 bits, hasta 13 canales.
- Puerto serie síncrono que soporta protocolo I<sup>2</sup>C.
- Interfaz RS232.

Microchip brinda además gran volumen de información, notas de aplicación y herramientas para desarrollar sistemas con sus microcontroladores. Otro aspecto que se tuvo en cuenta fue la disponibilidad de un software simulador, el Proteus VSM, que incorpora el modelo del dispositivo y de un compilador que permite la programación del microcontrolador en un lenguaje de alto nivel, C.

El microcontrolador PIC18F4550 integra en un solo componente elementos de los bloques de adquisición (multiplexor analógico + conversor A/D), tratamiento y transmisión (interfaz USB y RS232). De esta forma se disminuye en tamaño y complejidad el diseño de circuito impreso, además de facilitar el trabajo de procesamiento y transmisión de los datos.

### Reloj de tiempo real:

A través del bus I<sup>2</sup>C se efectúa la comunicación entre el reloj de tiempo real y el microcontrolador. De esta forma se hace posible la configuración del reloj por parte del microcontrolador y el envío de los datos de fecha y hora que solicite el mismo al reloj.

Otra función del reloj es generar la señal utilizada por el microcontrolador para comenzar una secuencia de adquisición de datos. Para tal propósito se seleccionó un reloj con fuente de interrupción, dicho terminal se conecta a una de las entradas de interrupción externa del microcontrolador. Cada canal del conversor podrá tener una frecuencia de muestreo independiente.

### Memoria:

Para el almacenamiento de la información adquirida por el sistema, se utiliza una memoria EEPROM de 512 KB, conectada al bus I<sup>2</sup>C. Los datos de cada variable se guardarán cada 1 minuto, como mínimo, teniendo en cuenta que la mayoría de las variables meteorológicas no tienen grandes cambios en cortos intervalos de tiempo. Para el caso de variables que sí pueden variar rápidamente, como la velocidad del viento, la frecuencia de muestreo puede ser cada 1 segundo, aunque en la memoria solo se almacenará cada 1 minuto el valor medio y los extremos medidos durante dicho minuto.

La autonomía del sistema, con todos los canales midiendo simultáneamente, se extiende hasta 10 días. Los datos se

almacenarán en bloques por cada día de trabajo, incluyendo los siguientes parámetros:

- Año, mes, día y hora en que comienzan las mediciones.
- Canales en uso.
- Frecuencia de muestreo de cada canal.
- Valores obtenidos de cada canal.

Realizar cualquier cambio en la configuración del sistema, obviará los datos en la memoria, por lo que antes deben ser guardados.

#### **Transmisión:**

La capacidad del sistema de comunicarse con una computadora resulta muy útil para su funcionamiento, permite aumentar sus potencialidades aprovechando la capacidad de almacenamiento y procesamiento de las máquinas computadoras actuales. Para la conexión con las mismas se emplean: la interfaz RS232 y la interfaz USB (Universal Serial Bus). Ambas se encuentran integradas al microcontrolador utilizado lo que facilita el diseño y la programación.

La interfaz RS232 es empleada en la mayoría de las estaciones meteorológicas que se encuentran en el mercado, permitiendo la conexión a los ordenadores y a dispositivos de comunicación, como los módems. El USB en la actualidad es la interfaz para conexión de periféricos más empleada. Entre las facilidades que brinda se encuentran: conexión en caliente, detección y configuración automática, grandes velocidades de comunicación y se estima que en un futuro reemplace totalmente a los puertos serie de las computadoras para la conexión de periféricos.

## **MÓDULO DE INTERFAZ**

El SAD para variables meteorológicas cuenta con un módulo de interfaz compuesto principalmente por: una pantalla LCD gráfica, un teclado y un microcontrolador como núcleo. El módulo se diseñó de forma independiente pues su empleo depende de la aplicación real que se le dé al sistema, de esta forma se puede contar con un diseño más versátil y adaptable a diferentes situaciones.

El módulo se emplea principalmente para mostrar los valores actuales de las variables que se adquieren por cada canal. La pantalla se divide en 6 áreas, cada una de ellas destinada a la función especificada en la figura 2. En cada instante solo es posible visualizar el estado de un canal. Por medio de dos botones (adelante / atrás) se puede navegar a través de los 11 canales del SAD (desde el canal 0 hasta el canal 10). Cuando el canal mostrado no se esté empleando, en el área 3 aparecerá el mensaje "NO CONECTADO" y en el área 4 el valor 0.

La ventaja de contar con un módulo de interfaz para el SAD va más allá de la posibilidad de visualizar los datos, también puede emplearse para la configuración del sistema sin necesidad de una computadora. En el módulo de interfaz están disponibles, para la conexión al sistema, las interfaces RS232 e I<sup>2</sup>C.

Contar con la interfaz RS232 permite enlazar el módulo de interfaz al SAD por el mismo terminal al que se conectaría una computadora, muy útil para el caso en el que el módulo se

encuentra de forma independiente al SAD. Además facilita la tarea de puesta a punto del módulo, pudiendo conectarlo a la computadora y probarlo empleando herramientas de simulación. Si el SAD necesita, por la aplicación que tendrá, contar siempre con la posibilidad de visualizar los datos, debe emplear la interfaz I<sup>2</sup>C para conectarse con el módulo, dejando la RS232 del SAD disponible para la conexión a una computadora o a un modem.

## **CONCLUSIONES**

La utilización del microcontrolador PIC18F4550 permite contar con los recursos integrados en él: multiplexor analógico, conversor A/D, interfaces RS232 y USB. Lo que disminuye la complejidad del diseño del circuito impreso y la programación del SAD.

El diseño de la interfaz como un módulo independiente, ofrece la posibilidad de distribuir un producto en función de la aplicación:

- Si el sistema se instala en un lugar de difícil acceso, no necesita contar con el módulo de interfaz, manteniendo la posibilidad de conectarlo externamente, a través de la interfaz RS232, para visualizar los datos o configurarlo sin la necesidad de una computadora.
- Si se utiliza el sistema como un equipo portátil, el módulo de interfaz se conecta al resto del sistema a través de bus I<sup>2</sup>C, dejando disponible la interfaz RS232 para la conexión a una computadora.

El uso del módulo de interfaz no es imprescindible, aunque sí recomendado. Su concepción independiente del SAD permite su omisión en caso de no contar con los recursos económicos suficientes.

La selección de los componentes se realizó teniendo en cuenta la calidad y el aspecto económico. La fabricación del SAD en el país es factible, lo que aumentaría la calidad de los estudios meteorológicos, dándole independencia tecnológica en el área en cuestión.

Finalmente el SAD brinda la posibilidad de adquirir dos señales digitales de frecuencia y una de pulsos, además de ocho señales analógicas con ganancia ajustable, configurables entre corriente o tensión. Por lo antes mencionado el sistema admite la utilización de una amplia gama de transductores para variables meteorológicas. Cuenta con los recursos de hardware que permiten implementar todas las funcionalidades que se esperan de este tipo de SAD: adquisición (11 canales), registro del instante en que se realiza cada medición, almacenamiento de las mediciones, transmisión de los datos y conexión a una computadora.

## **REFERENCIAS**

1. **CONTRERAS, A.:** *Nociones elementales de meteorología e instrumentos meteorológicos*. 1975.
2. **INSMET:** *Portal del Instituto de Meteorología de la República de Cuba*. 2010; Disponible en: <http://www.met.inf.cu>.

3. **PÉREZ, M.:** *Instrumentación Electrónica. Ed. Thomson* 2004.
4. **HELFRICK, W.D.C., A.D.:** *Instrumentación Electrónica Moderna. Ed. Prentice Hall* 1991.
5. **VAISALA:** *HMP50 Miniature Humidity and Temperature Probe for OEM Applications. AMBIMET* 2006.
6. **APOGEE:** *Piranometer Sensor (Model PYR). AMBIMET* 2006.
7. **SICO:** *Datos técnicos. Sensor de Viento. Anemómetro Ultrasónico.* 2008
8. **YOUNG:** *Model 05103 Wind Monitor, in High Performance Wind Sensor.* 2006
9. **VAISALA:** *PTB100 Analog Barometer.* 2004.
10. **AMBIMET:** *HL20 Measurement and Control System.* 2003.
11. **AMBIMET:** *EM50 Datalogger.* 2008.
12. **RAINWISE INC:** *WeatherLog, Estación Meteorológica portátil.* 2008.
13. **AMBIMET:** *Estación meteorológica automática para uso profesional Modelo HL20-MET.* 2008.
14. **MICROCHIP:** *Datasheet PIC18F2455/2550/4455/4550.* 2006.

## AUTORES

**Ailyn Gutiérrez Ferrera**, Ingeniera en Automática, Profesor Instructor, Universidad de las Ciencias Informáticas, [ailyngf@uci.cu](mailto:ailyngf@uci.cu).

**Héctor Trujillo Alvarado**, Ingeniero Electricista, Profesor Titular, Centro de Investigaciones en Microelectrónica, ISPJAE, [hector.trujillo@electrica.cujae.edu.cu](mailto:hector.trujillo@electrica.cujae.edu.cu).

Tabla 1. Sensores electrónicos para variables meteorológicas

Variable	Modelo / Fabricante	Señal de salida
Humedad relativa / Temperatura ambiente	HMP50 / VAISALA	Disponible en los rangos: 0 - 1V DC 0 - 2.5V DC 0 - 5V DC
Radiación solar	PYR/ Apogee	El fabricante incluye en el precio del piranómetro un módulo de acondicionamiento con la salida en el rango deseado por el cliente.
Velocidad y Dirección del viento	05103L / YOUNG	4 - 20mA
Presión atmosférica	PTB100 / VAISALA	Disponible en los rangos: 1 - 2.5V DC 0 - 5V DC
Precipitaciones	52202 / YOUNG	Cierre de contacto en el momento de la basculación.

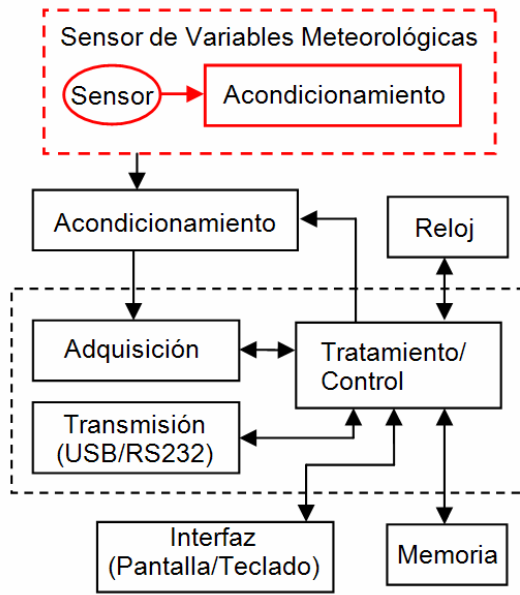


Figura 1. Diagrama en bloques del SAD para variables meteorológicas propuesto

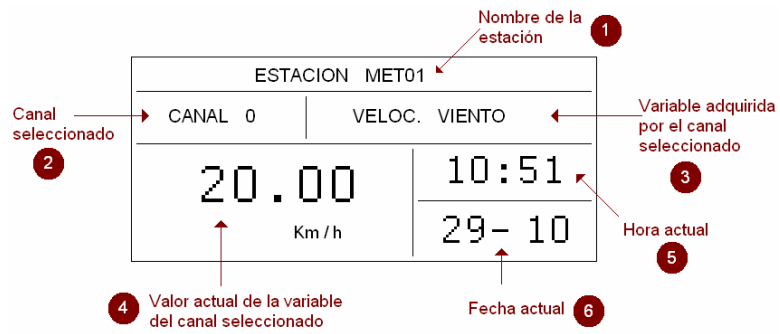


Figura 2. Interfaz visual