

DISEÑO DE UN INSTRUMENTO PARA LA MEDICIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

Luís Fernando Ortiz Arroyave¹, Joe Alexander Jiménez Herrera²

^{1,2}Ingeniero Electrónico UdeA, M.Sc.(c) en Automatización y Control Industrial, Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín ITM. Docente Catedrático de la Universidad de Antioquia, Departamento de Ingeniería de Sistemas, Área de Arquitectura de Computadores y Diseño de Circuitos Digitales. Correo: lufe1232000@gmail.com, alexjh765@gmail.com

RESUMEN

Se presenta el diseño de un sistema empleado en la medición de la radiación solar. El instrumento esta basado en el uso de piranómetros (sensores de radiación solar) y el microcontrolador MC9S12DP256B, de 16 bits. Se describe la integración de los diferentes subsistemas que componen el instrumento, con el sistema central de control y procesamiento de datos. Finalmente se muestran los resultados con mediciones hechas experimentalmente.

Palabras clave: Piranómetros, radiación solar, microcontrolador.

Recibido: 17 de Abril de 2009. Aceptado: 30 de Junio de 2009

Received: April 17, 2009 Accepted: June 30, 2009

DESIGN OF AN INSTRUMENT FOR MEASUREMENT OF THE SOLAR RADIATION

ABSTRACT

The design of a system used in measuring the solar radiation is presented. The instrument is based on pyranometer (solar radiation sensors) and MC9S12DP256B microcontroller. This paper describes the integration of the instrument subsystems, with the control and data processing system. Finally, its presents the results with experimental measurements.

Keyword: *pyranometers, solar radiation, microcontroller.*

1. INTRODUCCIÓN

Basados en la necesidad de evaluar la potencia solar en determinadas zonas, con el fin de estudiar y establecer su posible aprovechamiento en diferentes aplicaciones como: acumuladores, cargadores de batería, calentadores de líquidos, hornos, monitoreo del cambio climático, aplicaciones industriales, entre otros [12]; se hizo necesario desarrollar un sistema, capaz de medir la radiación solar (en sus componentes directa, difusa y reflejada) y almacenar sus datos por un periodo de tiempo preestablecido para su posterior análisis.

En su implementación, se desarrolló un sistema hardware-software modular, permitiendo un manejo más eficiente entre las diferentes instancias y una metodología de diseño que facilita el análisis y seguimiento de posibles fallas o en su defecto la realización de mejoras. El desarrollo del software se implemento en el programa CodeWarrior, utilizado para la programación de microprocesadores 9S12 [1], [10]. Su estructura está basada en el uso de funciones y métodos.

En el desarrollo de este prototipo se trabajó en múltiples aspectos hardware y software, en este artículo se pretende informar los aspectos relacionados con el software del proyecto en interrelación con los demás subsistemas. En la siguiente sección se describe la ecuación del sol, en la sección 3, se describen las principales especificaciones del instrumento, en la sección 4 se refiere al sistema de procesamiento de datos, en la sección 5 se ilustran las pruebas realizadas, y finalmente en la sección 6 se tratan las conclusiones.

2. CONCEPTOS PRELIMINARES

2.1 Componentes de la radiación solar

Las diversas componentes de la radiación solar están designadas por:

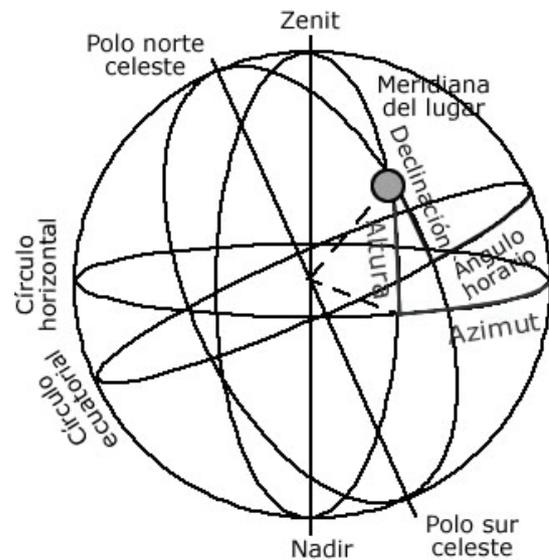
- La radiación directa es la radiación recibida desde el sol sin considerar el efecto de la atmósfera.
- La radiación difusa, concierne a la radiación solar dispersada por los diferentes componentes de la atmósfera
- La radiación reflejada ó albedo es la radiación reflejada por el suelo.

2.2 Ecuación del sol

Permite establecer la posición real del sol en un determinado instante de tiempo; requiere del manejo de variables en punto flotante, de accesos dinámicos y globales para el sistema. Entre estas variables se encuentran la declinación, la latitud y el número del día del año (de 1 a 365).

Para entender el concepto de ecuación del Sol, se necesitan conocer algunos términos (ver figura 1) [4] y establecer algunas referencias, las cuales se mencionan a continuación:

- AR: ascensión recta. Es el ángulo medido en el plano del ecuador a partir de PA (Punto vernal o Aries).
- DEC (δ): declinación. Se define como el ángulo entre el plano ecuatorial de la Tierra y la dirección de los rayos del Sol. El cambio máximo en la declinación (ocurre en los equinoccios) es menos del 0.5° . Por lo tanto, se asume la declinación constante para 24 h.
- NDY: número de días del año.



Transformación horizontales - horarias

Fig. 1. Coordenadas astronómicas

Para obtener un valor exacto de la declinación solar, existen varias opciones (en grados), entre las que están:

Según Spenser [4]:

$$DI = 2\pi \frac{(NDY - 1)}{365} \quad (1)$$

$$DEC = \left[\begin{array}{l} 6.918 - 399.912\cos(DI) + \\ 70.257\sin(DI) - 6.758\cos(2DI) + \\ 0.907\sin(2DI) - 2.697\cos(3DI) + \\ 1.48\sin(3DI) \end{array} \right] e^{-3} \quad (2)$$

Estima DEC (δ) con un error máximo de 0,0006rad(<3'), si se omiten los dos términos finales, el error máximo es de 0,0035 rad (12').

$$E = 229.18 \left[\begin{array}{l} 75e^{-6} + 18.68e^{-4} * \cos(DI) - \\ 32.077e^{-3}\sin(DI) - 14.615e^{-3}\cos(2DI) \\ - 40.89e^{-3} * \sin(2DI) \end{array} \right] \quad (3)$$

Donde:

E: ecuación del tiempo (ecuación 3). Un día solar es el intervalo de tiempo (no necesariamente de 24 horas) donde el Sol aparece y termina un ciclo sobre un observador inmóvil en la Tierra. La serie de Spenser nos permite trabajar con la ecuación del tiempo, donde E está dado en radianes y el multiplicador 229,18 la convierte en minutos.

El máximo error con esta serie es 0,0025 rad, cerca de 35 seg.; para cálculos menos exactos [4].

Según Perrin de Brichambaut [4]:

$$DEC = a \sin(0.4 \sin[(360/365)(NDY - 82)]) \quad (4)$$

Según Cooper [4]:

$$DEC = (23.45 \sin[(360/365)(NDY + 284)]) \quad (5)$$

Con el fin de calcular el ángulo azimutal ó azimut (A), es necesario pasar de coordenadas ecuatoriales a horizontales, teniendo en cuenta que es la latitud del lugar (altura del PN. sobre el horizonte).

α : Ángulo horario de 0 a 360 grados o de 0 a 24 horas, asumiendo que cada hora corresponde a un giro de 15 grados.

$$h = a \sin(\sin \delta \sin \varphi - \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) \quad (6)$$

$$A = a \cos\left(\frac{\sin \varphi \sin(h) - \sin \delta}{\cos \varphi \cos(h)}\right) \quad (7)$$

Para poder analizar cuál de las múltiples opciones que se presentan para realizar el cálculo de la declinación, se realizaron algunas pruebas en el paquete matemático de Matlab, y se observó que su diferencia solo se hace notoria en el 5 o sexto dígito decimal, teniendo esto en cuenta y por simplicidad computacional a la hora de realizar la operación matemática dentro del procesador, se implementó el cálculo según Cooper.

3. DESCRIPCION DEL SISTEMA

El diseño del instrumento se basó en el microcontrolador MC9S19, y los piranómetros, CM3 que mide potencia difusa y directa, y el CM6B para radiación global. Un diagrama de bloques del instrumento se puede observar en la figura 2. Previamente fue necesario conocer los criterios de selección del sistema de procesamiento de datos, establecer las variables a medir, el grado de precisión (resolución conversores A/D) para la adquisición, manipulación y almacenamiento de datos; los módulos de comunicación serial, los controladores de hardware (drivers) y las necesidades de visualización de información, [11].

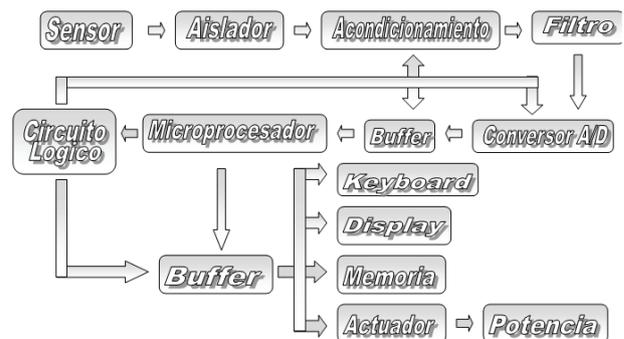


Fig. 2. Diagrama de bloques del instrumento de medición de radiación Solar

Adicionalmente, fue necesario conocer aspectos relevantes en la selección de tecnología, como: costo, fiabilidad, versatilidad, disponibilidad en el mercado, tiempo de adquisición, compatibilidad tecnológica y grado de robustez (necesidades de software); notándose la necesidad de un sistema de procesamiento de alta velocidad que permitiera

manipular variables en punto flotante, con una gran capacidad de memoria para las rutinas de control y configuración del sistema. Uno de los dispositivos que cumple con estos requerimientos de velocidad, capacidad de procesamiento y memoria es el microcontrolador MC9S12DP256B [3], [6].

4. MICROCONTROLADOR MC9S12

El microcontrolador MC9S12, pertenece a la generación de 16 bits. En particular el DP256, provee una trayectoria de migración ascendente del Motorola 68HC08, 68HC11 y 68HC12, utilizados en aplicaciones con altos requerimientos memoria, periféricos y velocidad de respuesta [1].

4.1 Rasgos principales del microcontrolador

El MC9S12DP256B, es un dispositivo integrado por periféricos estándares; con una unidad central de procesamiento de alto rendimiento a 16 bits (CPU), opera con un bus de 25 MHz a 5V, para un tiempo mínimo de respuesta de 40ns; el código de operación es compatible con los 68HC11 y 68HC12, el compilador de lenguaje C del CodeWarrior, se perfeccionó para proporcionar un código sumamente compacto [2], [9]; donde la gestión de los recursos del sistema, como la generación de reloj, el control de interrupciones e interconexión de buses; son manejados por el módulo de integración de sistema (SIM), que opera con un bus de datos a 16 bits, sin embargo, el bus externo es configurable a 8 bits, haciéndolo compatible con diversos dispositivos. La inclusión de un dispositivo PLL, permite el funcionamiento con bajo consumo de energía, ajustable a los requisitos operacionales del prototipo.

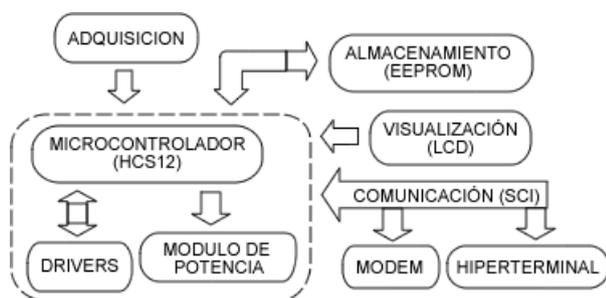


Fig. 3. Diagrama de bloques del sistema de procesamiento de datos

4.2 Software y programación

El Microcontrolador HCS12, es un dispositivo que permite tanto la utilización de lenguaje de alto nivel

(lenguaje C), como de bajo nivel (*Assembler*); mediante el compilador del paquete *CodeWarrior*, desarrollando una metodología de diseño modular, para facilitar el análisis y el seguimiento del código; haciendo uso de reutilización de variables, subrutinas y llamada a procedimientos, con el fin de minimizar la utilización de los recursos de memoria.

Entre los diferentes módulos programados (ver figura 3), se encuentran:

Protocolo serial. Utilizando el SCI (serial communications interface) [3], permite establecer y detectar una petición de comunicación entre el usuario y el PC para la visualización o descarga de datos y el I2C (two-wire bi-directional serial communication) [7], usado para la comunicación con el PC y el módulo de almacenamiento, respectivamente.

Drivers. Configuración e inicialización de los diversos periféricos, entre los que se cuentan los módulos de comunicación serial, por medio de manejo de interrupciones; la RTC, encargada de establecer o suministrar la fecha y hora actual del sistema; el LCD y el teclado matricial, que componen la interface principal; las memorias EEPROM, constituyen el módulo de almacenamiento; los finales de carrera, delegados a implantar los límites en el rango de movilidad del motor, entre otros.

Decodificador de teclado matricial. Encargado de la interpretación y adquisición de las ordenes generadas por el usuario hacia el sistema.

Configuración de puertos (in/out). Determinan el funcionamiento de los diferentes pines del microcontrolador, estableciéndolos como entradas (input) o salidas (output).

ADC (Convertor análogo a digital). Informa sobre el estado de la digitalización de las señales, entregadas por los sensores [8] después de ser debidamente acondicionadas; Se configuran los conversores a 10 bits, permitiendo una mayor sensibilidad en los dispositivos [5].

Menús de navegación. En los cuales se desarrollan las rutinas básicas de comunicación entre el usuario y el sistema, determinadas por acciones preestablecidas que son fácilmente identificables por la unidad de control, en este caso el microcontrolador MC9S12DP256B.

Generación de alarmas. Permiten conocer el estado de funcionamiento actual del equipo, utilizando una serie de banderas o alarmas que informan sobre la operación del sistema; entre las alarmas incorporadas se encuentran:

Reset System (R). Sistema reinicio manualmente; **New Password (N),** modificación del password del sistema, **Active Interface (A),** habilitación de interfaz principal (LCD y teclado matricial). **Incorrect Password (P),** acceso no autorizado a la configuración del sistema. **Motor without Power (M),** sistema de potencia sin voltaje de alimentación o en mal funcionamiento y **por último Low Battery (B),** soporte de energía de la RTC (conformado por una batería de litium) esta por debajo de los límites tolerados.

Reset. Inicialización manual del sistema, permitiéndole reiniciar totalmente su funcionamiento.

IRQ. Permite verificar y controlar la base de tiempo de operación del sistema.

5. RESULTADOS

Dentro de las pruebas que se realizaron para probar el desempeño del sistema implementado, se tomaron los resultados que se obtuvieron del cálculo de las variables de la ecuación del Sol, mencionados anteriormente, donde se resaltaba los cálculos de Cooper y se compararon con algunas pruebas que se hicieron al sistema de medición de radiación Solar, allí se obtuvieron los resultados de la figura 4.

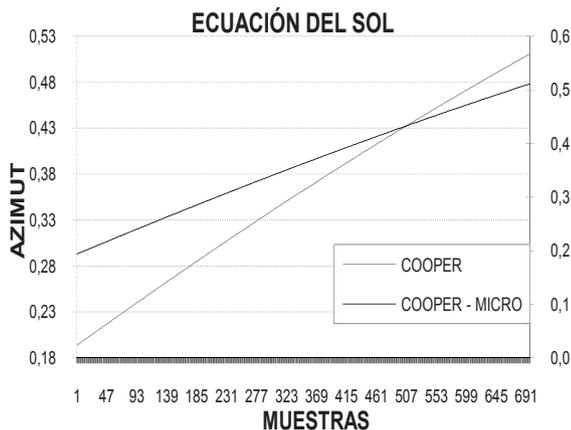


Fig. 4. Resultados de la ecuación del Sol

Se determinó la confiabilidad del instrumento, con un análisis comparativo de los resultados obtenidos al implementar la ecuación del Sol en el microcontrolador y en el paquete matemático Matlab, con un margen de error de ± 0.0001 .

Como se mencionó anteriormente, para medir la radiación solar, se utilizaron 2 piranómetros, el CM3 que mide potencia difusa y directa, y el CM6B para radiación global, en la figura 5, se observan los datos de una medición efectuada.

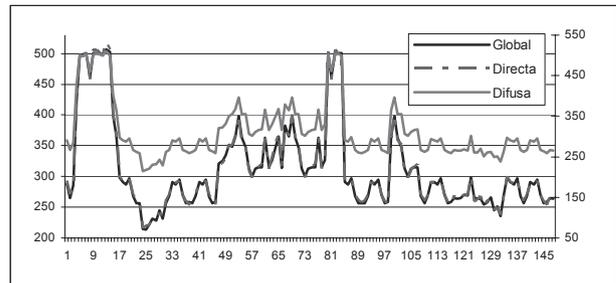


Fig. 5 Medida de componentes de radiación

6. CONCLUSIONES

Se desarrollo un sistema de medición de radiación solar, necesario para el diseño e implementación de proyectos de gran trascendencia como los relacionados con investigación y aprovechamiento de fuentes de energía alternativa, y monitoreo del cambio climático. El dispositivo cuanta con altas necesidades de velocidad de procesamiento y manejo de periféricos, de carácter confiable y compatible con la tecnología vigente en el mercado.

La implementación de sistemas modulares tanto a nivel hardware como a nivel software permite construir nuevos instrumentos, de alta complejidad y de gran calidad, además de ayudar a identificar posibles problemas con mayor prontitud o de realizarle mejoras al instrumento para aumentar sus prestaciones.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] The Motorola HCS12 Family of microcontrollers. FLYRHCS12FAM/D. Motorola. 2003
- [2] HCS12 Microcontroller. S12CPUV2 Reference Manual. Motorola.com/semiconductor. 2003

[3] Freescale Semiconductor. Serial Communications interface (S12SCIV2). Capítulo 1. Block description.

[4] Steven V. Szokolay. Arquitectura Solar. Editorial Blume, Barcelona-España.1983.

[5] Application Note AN2438/D 2/2003. ADC Definitions and Specifications. Freescale Semiconductor. 2003.

[6] 9S12DP256BDGV2/D. MC9S12DP256B Device User Guide V02.15. Motorola. 2003

[7] The I2C bus specification. Disponible en: www.semiconductors.philips.com/i2c [consultado Abril 23 de 2006]

[8] Piranómetros (Sensores de radiación solar). Disponible en: www.kippzonen.com/pages/141/3/CM6B [consultado Julio 15 de 2006]

[9] Kit de desarrollo HCS12. Disponible en: www.softecmicro.com [consultado: Marzo de 2009]

[10] Ortiz, Luis Fernando y Jiménez, Joe. Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos para medir potencia solar local. Revista de Ingeniería, Universidad de los Andes, Vol. 23. 2006. Colombia.

[11] S. Rosiek, F.J. Batlles, A microcontroller-based data-acquisition system for meteorological station monitoring, Energy Conversion and Management 49, 2008, pp. 3746–3754.

[12] Christian A. Gueymard, Daryl R. Myers “Evaluation of conventional and high- performance routine solar radiation measurements for improved solar resource, climatological trends, and radiative modeling”, Solar Energy 83, 2009, pp.171–185.