

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS OFFLINE DE OCHO CANALES CON ALMACENAMIENTO MASIVO

Luis Felipe Arango Rengifo^{*}
John Jiménez Gómez^{**}

Evaluadores: Andrés David Restrepo^{***}
Alberto Cuervo García^{****}

Tipo de Artículo: Investigación Científica y Tecnológica

RESUMEN

En los procesos de generación, transmisión, distribución, comercialización, utilización de la energía eléctrica y en el control de procesos se propende por la optimización en el uso de los recursos, pretendiendo obtener los mejores resultados (confiabilidad, sensibilidad, etc.). Procesos similares se deben llevar a cabo en el caso de mediciones en estructuras mecánicas para su monitoreo bajo diferentes condiciones de trabajo. Lo anterior es posible si se cuenta con la instrumentación adecuada para capturar, medir y controlar los diferentes parámetros del sistema. Con el fin de lograr lo anterior se desarrollo un sistema que permite la realización de este tipo de tareas sin que se presente dificultades de instalación, preparación, alimentación, portabilidad y costos.

* Ingeniero Electrónico Universidad Santiago de Cali. Docente hora cátedra Universidad San Martín Palmira. Vinculado al grupo de investigación en Instrumentación Electrónica (GIE). luis.arango00@usc.edu.co

** Ingeniero Electricista Universidad del Valle (1997), Especialista en Docencia para la Educación Superior Universidad Santiago de Cali (1999), Especialista en Electromedicina y Gestión Tecnológica Hospitalaria Universidad Autónoma de Occidente (2003), Maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Electrónica Universidad del Valle (2008). Profesor de Dedicación Exclusiva Universidad Santiago de Cali. Coordinador del grupo de investigación en Instrumentación Electrónica (GIE). jjimenez@usc.edu.co

*** Ingeniero Electrónico (1999), Magíster en Automática (2005), estudiante de Doctorado en Ingeniería de la Universidad del Valle. Profesor Tiempo Completo de la Universidad Santiago de Cali. Vinculado al grupo de investigación en Instrumentación Electrónica (GIE). adareg378@yahoo.com

**** Ingeniero Electricista, especialista en telecomunicaciones del área de Electrónica, M. Sc. en "Electrónica del Estado Sólido: Microelectrónica", más de 20 años en la docencia universitaria y 25 años de experiencia profesional, habiendo sido miembro de comités regionales y nacionales del sector eléctrico colombiano. Profesor Tiempo Completo de la Universidad Santiago de Cali. Vinculado al Grupo de Investigación en Instrumentación Electrónica – GIE –. alcuervo03@yahoo.es

PALABRAS CLAVE

Conversión análogo-digital, comunicaciones, adecuación de señales, muestreo, cuantificación, codificación.

ABSTRACT

In the generation, transmission, distribution, marketing, use of electric power and control processes tends to optimize resource use, claiming best results (reliability, sensitivity, etc.). This is possible if you have the proper instrumentation to capture, measure and control the various system parameters. To achieve the above a system has been developed that allows the execution of such tasks without the difficulties of this installation, preparation, nutrition, portability and cost.

KEYWORDS

Analogue-digital conversion, communications, signal conditioning, sampling, quantifying, coding

0. INTRODUCCIÓN

Un sistema de adquisición de datos (SAD) puede definirse como “un conjunto de diferentes módulos electrónicos que permiten llevar a cabo una transformación de datos desde el campo analógico al campo digital, sin perder aspectos o propiedades fundamentales propias de una señal” [1], cuya principal función es la de llevar un registro de una o varias variables de un proceso cualquiera.

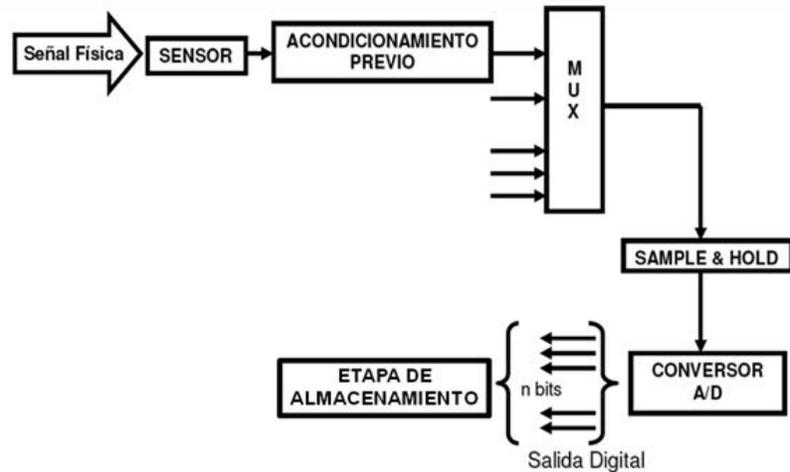


Figura 1. Diagrama de Bloques de un SAD

Dentro de las principales funciones que cumplen los elementos que conforman un SAD se puede enumerar las siguientes:

- *Sensores*: Son los encargados de convertir una variable física (presión, temperatura, aceleración, etc.) en una variable eléctrica (corriente o voltaje) que puede ser procesada por el sistema.
- *Acondicionamiento de la señal*: Es la etapa encargada de filtrar y adaptar la señal proveniente del sensor a la entrada del conversor análogo-digital. Ésta adaptación suele ser doble ya que se encarga de acoplar el rango de salida del sensor al rango de entrada del conversor A/D y de compensar la impedancia de salida de uno con la impedancia de salida del otro.
- *Multiplexor (MUX)*: Es el módulo o circuito encargado de seleccionar la señal de entrada que va a ser tratada en ese momento. Este circuito solo es necesario para sistemas de múltiples entradas.
- *Sample & Hold (Muestreo y Retención)*: Este circuito es el encargado de tomar la muestra del canal seleccionado (Sample) y mantenerla (Hold) durante el tiempo que dura la conversión.

- *ADC (Conversor Análogo-Digital)*: Proporciona un código digital de salida el cual representa el valor de la muestra adquirida, realizando las funciones de cuantificación y codificación.
- *Etapa de almacenamiento*: Implementada con una memoria flash (MMC) permite guardar las muestras obtenidas durante el proceso de adquisición.

1. METODOLOGÍA

El sistema implementado está configurado por tres componentes básicos: un microcontrolador ATmega8535, una memoria MMC de una capacidad no menor a 4 MB y la interfaz de usuario desarrollada en MATLAB R2007b®.

1.1 MICROCONTROLADOR ATmega8535

El ATmega8535 es un microcontrolador de 8 bits de la familia AVR de ATMEL, es de encapsulado tipo DIP de 40 Pines, internamente tiene 8 Kbytes de memoria Flash para programa, 512 bytes de memoria EEPROM y 512 bytes de SRAM disponibles para datos, 8 canales de conversión Análogo-Digital de 10 bits y 32 pines de entrada o salida. Su módulo de comunicación está compuesto por una USART serial programable, interface serial SPI y un puerto TWI el cual tiene las características y es capaz de realizar enlaces con elementos I2C. Para esta aplicación fue programado en su ensamblador usando el AVR Studio 4.0®.

1.1.1 Conversor análogo-digital. El conversor A/D del microcontrolador puede trabajar según especificaciones del fabricante a una frecuencia máxima de 1Mhz *para captura de datos*, su rango máximo de entrada varía entre GND y VCC (haciendo que la referencia sea igual a VCC), tiene una resolución de 10 bits y utiliza el modelo de aproximaciones sucesivas para realizar la conversión. Las características del conversor

se consideraron apropiadas para la aplicación, el objetivo del sistema es cumplir labores de monitoreo, por lo tanto para cualquiera que sea la aplicación deben adecuarse las señales según unos parámetros predefinidos para poder hacer el acople con el sistema. El modulo de conversión análogo digital en esta aplicación no solo cumplió la función obtener de las señales analógicas su equivalente digital, sino que también en su rutina de funcionamiento en el programa del microcontrolador se lleva toda la estrategia de control cuando el sistema está obteniendo datos.

1.1.2 Buses de comunicación. El sistema contempló el uso de tres buses de comunicación RS-232 y SPI, con los cuales se implementó el enlace con la memoria MMC, la comunicación PC-microcontrolador y una comunicación microcontrolador-acelerómetro. Los buses de comunicación están configurados de la siguiente forma:

- RS-232: Comunicación PC-microcontrolador, Topología Maestro-Esclavo donde el PC es el maestro, velocidad del bus 9600 Baudios, permite el envío de instructivos al microcontrolador y la descarga de información de datos al PC.
- SPI: Comunicación microcontrolador-MMC, Topología Maestro-Esclavo donde el micro es el maestro, velocidad del bus 4 MHz, permite el envío de comandos, la carga y de descarga de datos a la MMC.

1.1.3 Programa microcontrolador. Dentro de las funciones del microcontrolador se encuentran:

- Realizar conversión Análoga-Digital por ocho canales a una frecuencia de muestreo de 10 Hz por canal.
- Configurar, almacenar y leer datos en memoria MMC.
- Configurar y leer datos del acelerómetro a una frecuencia de muestreo de 80 Hz.
- Realizar comunicación con el PC y ejecutar las funciones de comenzar conversión Análoga-Digital, descargar datos de memoria MMC y verificar comunicación serial cuando éste se lo solicite.

El programa se diseñó con base en interrupciones ya que, logrando llevar un autocontrol del sistema en la ejecución de sus funciones; en lo concerniente al programa principal éste se encarga de esperar la activación de alguna interrupción y su única función es hacer efectiva algún cambio de canal del conversor análogo digital (ADC).

La comunicación entre el PC y el microcontrolador se basó en un modelo “*Maestro-Escavo*” en donde el PC envía una determinada instrucción al microcontrolador y éste debe responder o ejecutar una determinada acción. Se definieron 4 funciones que debe ejecutar el microcontrolador a petición del PC:

- Al recibir el dato “1” retransmite este dato y cinco datos más, después de esto pone su registro de conteo de datos en cero y esperar la siguiente instrucción.
- Al recibir el dato “2” define el primer bloque de memoria en la MMC aclarando los registros de dirección de ésta y hace el llamado a la subrutina “escritura”, después comienza la conversión Análoga-Digital.
- Al recibir el dato “3” define el primer bloque de memoria MMC para lectura aclarando los registros de dirección de ésta y luego hace un llamado a la subrutina “lectura” la cual se encarga de definir el bloque y enviarlo al PC.
- Al recibir el dato “4” incrementa el byte de dirección de memoria correspondiente al siguiente bloque, luego hace el llamado a la subrutina “lectura”.

El esquema general del funcionamiento del programa del microcontrolador se contempla en la figura 2.

1.2 MEMORIA MMC

1.2.1 Almacenamiento de datos en memoria. La tarjeta MMC se configuró para trabajar con el protocolo de comunicación SPI, el microcontrolador hace las veces de

codificado en binario natural. En los comandos que no requieren argumentos estos valen 0. El último byte (byte 6) es el byte de CRC para la verificación de errores y en realidad en el protocolo SPI no se utiliza, a no ser que en el registro de configuración se especifique que se desea utilizar CRC.

Tabla 2. Estructura del comando

Byte 1			Byte 2-5		Byte 6	
7	6	5-0	31-0		7	0
0	1	Comando	Argumento del comando		CRC	1

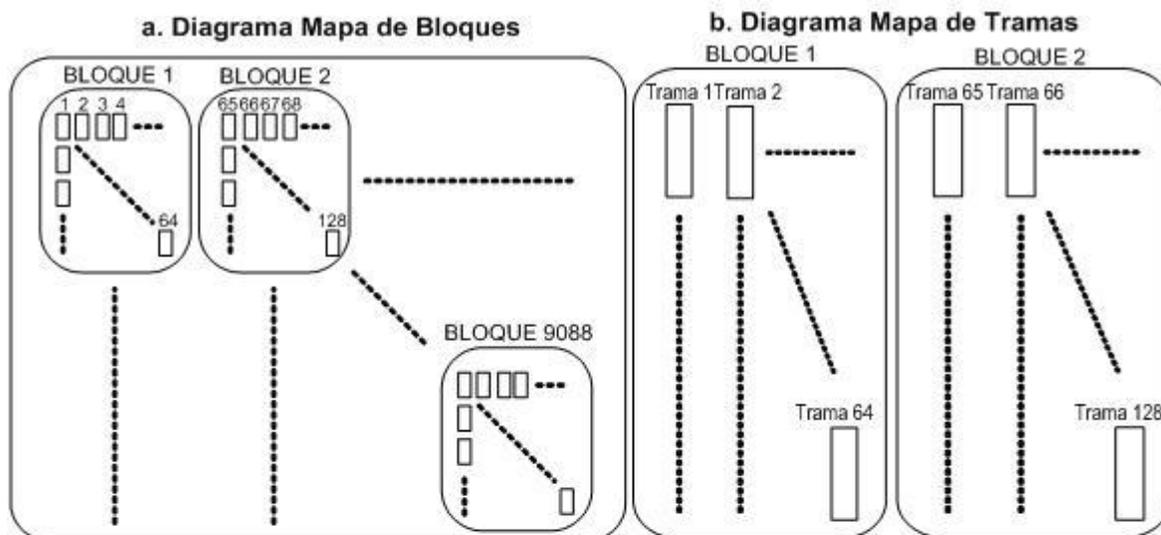
1.2.1 Programa para descarga y procesamiento de datos en el PC. Todo el sistema para el procesamiento y descarga de los datos fue desarrollado usando el programa Matlab R2007b, todas las funciones son presentadas en forma de interfaz de usuario. Las principales características de esta plataforma son:

- La comunicación entre los dos dispositivos se implemento en un modelo “Maestro-Esclavo”, donde el PC (maestro) vía puerto serial envía los comandos al microcontrolador (esclavo) y este debe realizar una determinada acción dependiendo de la instrucción.
- La función de descargar los datos de la memoria MMC se realiza mediante una sincronía entre los dos dispositivos, esta es la función más importante del proceso ya que por la cantidad de información almacenada en las pruebas este proceso es lento y fue diseñado para tener la menor perdida de información posible.
- La decodificación de los datos se hizo con base en el mapa lógico de la memoria MMC, en donde se trato de usar el mismo esquema e implementarlo para generar un archivo de datos en EXCEL.

1.2.2 Descarga de datos desde memoria MMC. La descarga de datos desde memoria MMC es la principal aplicación de la comunicación entre los dos dispositivos, descrita en una secuencia resumida es:

- Enviar el comando para definir el primer bloque de memoria MMC y esperar este bloque (siempre que se define que un bloque de memoria, éste se envía inmediatamente por parte del microcontrolador, esos 512 Bytes son la capacidad de la USAR del PC y después de que son cargados por ella se traen al programa para organizarlos).
- Cargar los datos y organizarlos de forma secuencial (se organizan 70 columnas de 65536 datos, los cuales son todos los datos que pueden direccionarse con un registro, cada columna equivale a un aumento en el registro addr2. La figura 3 muestra el mapa lógico desarrollado en la memoria MMC).
- Enviar el comando de continuar enviando datos hasta que se hayan completado las 70 columnas necesarias.

La figura 4 muestra el diagrama de flujo correspondiente a la descarga de datos desde la memoria MMC.



c. Diagrama mapa de Datos

Trama 1	Trama 2	Trama 8	Trama 9
1 LSB Canal 0	1 LSB Canal 1	1 LSB Canal 7	1 LSB Canal 8
2 MSB Canal 0	2 MSB Canal 1	2 MSB Canal 7	2 MSB Canal 8
3 MSB eje X			
4 LSB eje X			
5 MSB eje Y			
6 LSB eje Y			
7 MSB eje Z			
8 LSB eje Z			

Figura 3. Mapa lógico memoria MMC

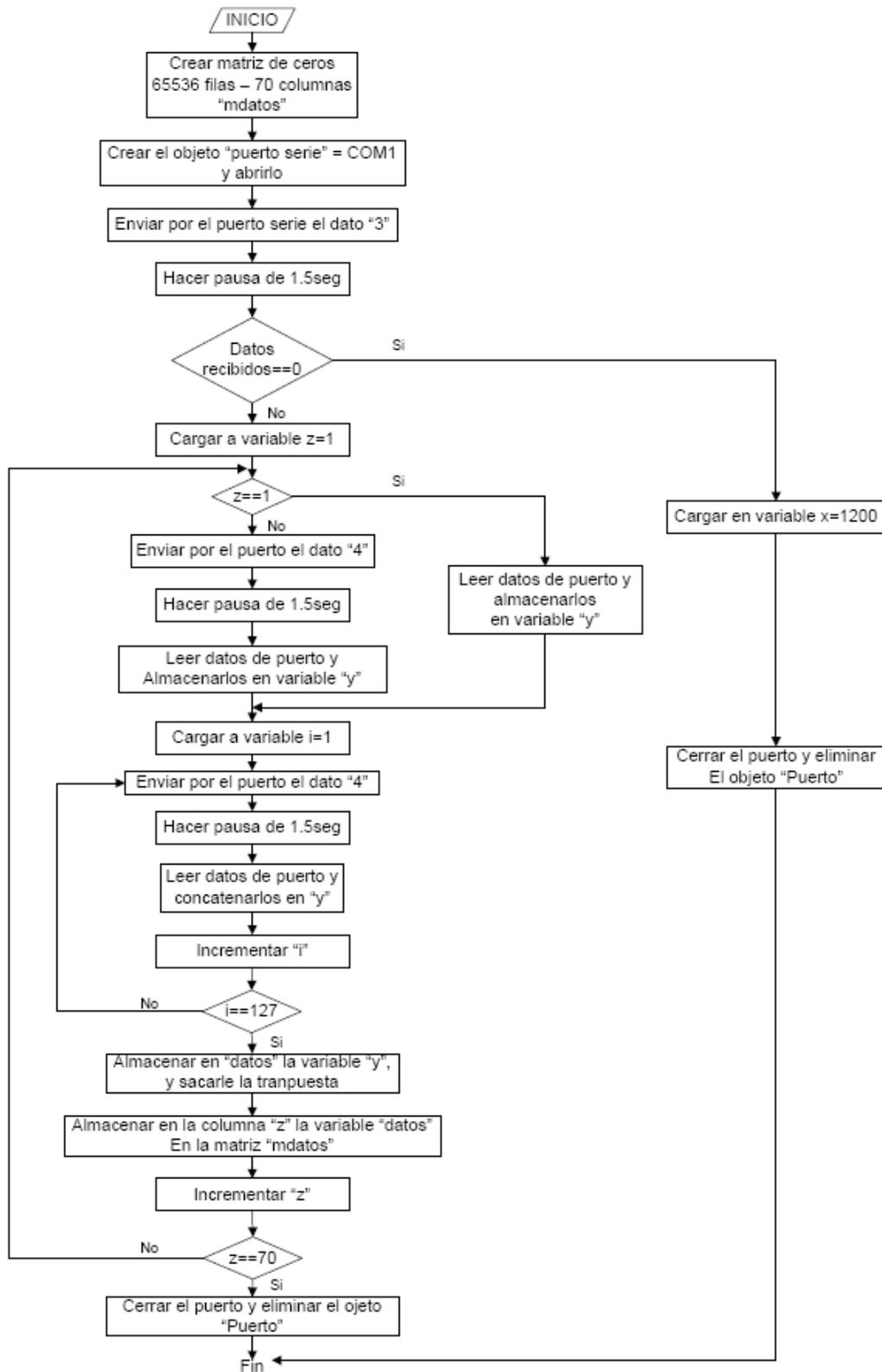


Figura 4. Extracción de datos desde PC a memoria MMC

1.2.3 Decodificación de la información. La información en almacenada en un archivo de EXCEL tiene un formato definido que corresponde exactamente al mapa lógico de la memoria MMC. Cada columna de 65536 datos contendrá 16384 datos correspondientes a los canales de conversión Análoga-Digital, lo que equivale a 2048 datos por canal (sin procesar) y 49152 datos de las aceleraciones en cada eje; de estos datos se obtendrán 1024 muestras por cada canal análogo y 8192 muestras por cada eje. La rutina de decodificación de los datos basa su funcionamiento en obtener una columna de datos de la matriz de datos puros y sacar los datos correspondientes a cada canal ya que se encuentran en un estricto orden secuencial definido desde el momento en que se almacenaron los datos en la MMC por el microcontrolador (ver figura 3).

1.3 INTERFAZ DE USUARIO

El programa está diseñado para presentarse como una interfaz de usuario, la cual contiene los comandos para el funcionamiento del sistema (ver figura 5).



Figura 5. Interfaz de usuario del SAD

2. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las prueba se realizaron mediante el monitoreo de una señal de deformación capturada utilizando un arreglo de galgas extensiométricas, esta prueba permitió verificar el comportamiento del sistema con señales simuladas por generadores de funciones y medir su comportamiento con sensores en aplicaciones clásicas como la de una viga de prueba.

Se diseño entonces la prueba de deformación a partir de una lamina de aluminio empotrada de 35 cm de largo, 2.5 cm de ancho y 4 mm de grosor; las galgas extensiométricas están puestas a 7.5 cm de distancia desde el punto de inicio de la barra en una configuración de compensación pasiva de temperatura, la adecuación de las señales se realizo usando amplificadores de instrumentación con poca ganancia para determinar el desempeño del sistema con señales de bajo nivel.

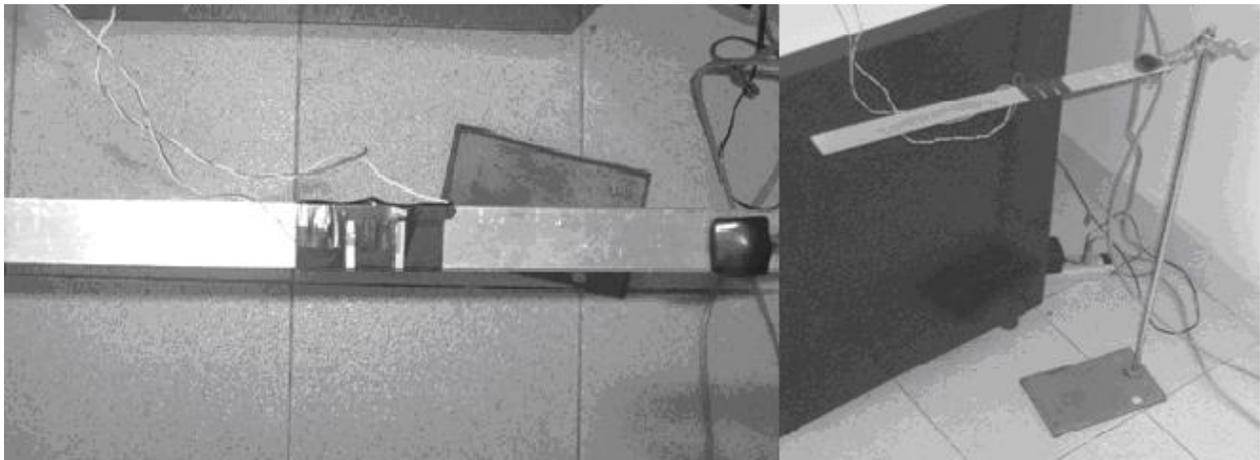


Figura 6. Lámina de aluminio con la galga extensiométrica

Para la prueba se utilizaron ocho señales distribuidas de la siguiente forma:

- Canal 0: Señal de deformación. Excitada dos veces con una deformación sostenida con regreso a estado normal lento y una deformación brusca con regreso a estado normal oscilante.
- Canal 1: Señal cuadrada de 1 Hz.
- Canal 2: Señal senoidal de 0,8 Hz.

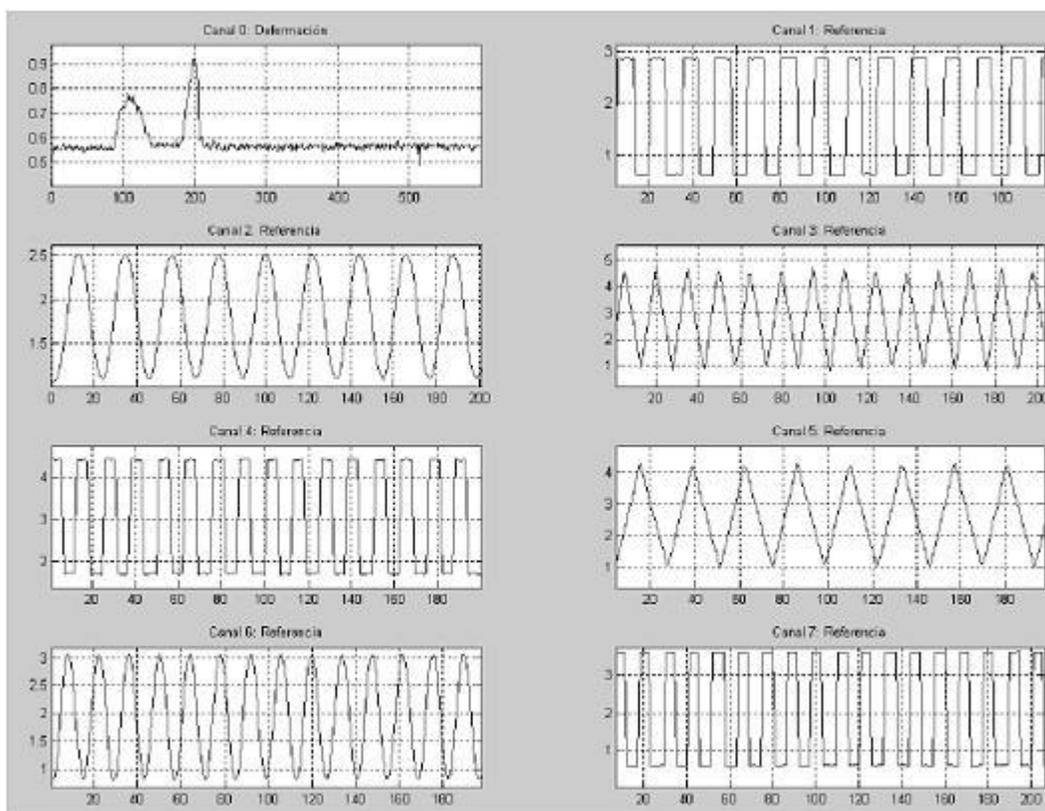
- Canal 3: Señal triangular de 1,1 Hz.
- Canal 4: Señal Cuadrada de 1,2 Hz.
- Canal 5: Señal triangular de 0,7 Hz.
- Canal 6: Señal senoidal de 1,2 Hz.
- Canal 7: Señal cuadrada de 1,4 Hz.

En la figura 7 se muestran las señales reconstruidas a partir de la adquisición realizada con el equipo desarrollado junto a las adquiridas con el equipo comercial.

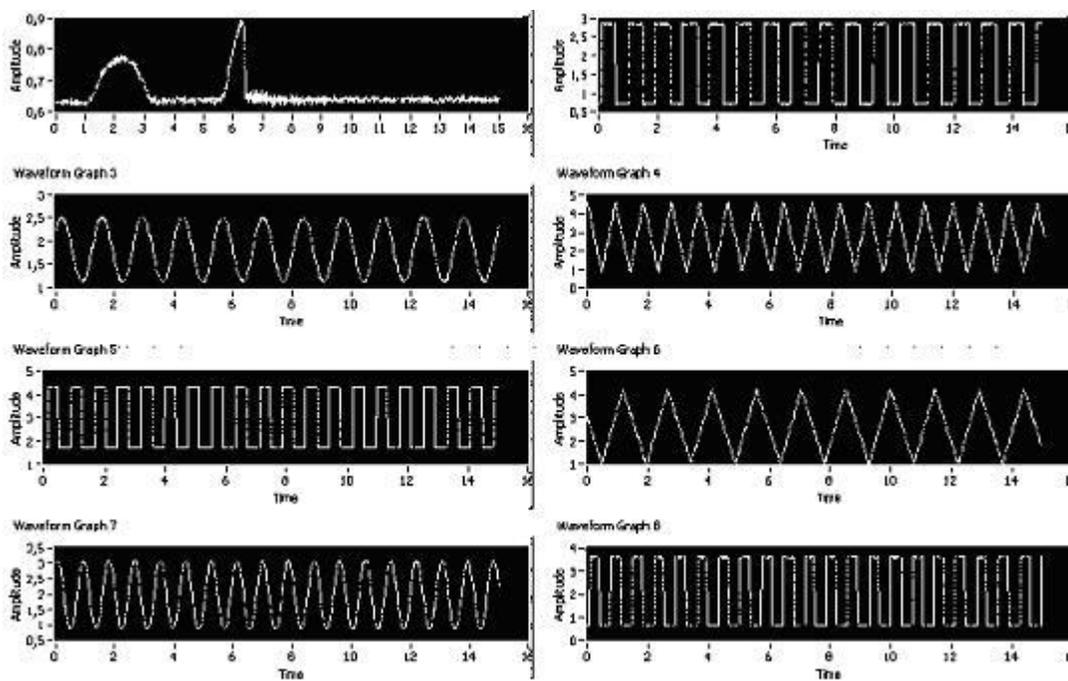
Se usaron señales de baja frecuencia para verificar que la señal sea reconstruida en su totalidad y que cuando se definan los bloques de memoria en la MMC durante la conversión no se afecten los resultados de ésta.

Se comprobó que el sistema responde acertadamente con un alto rango de inteligibilidad, y que la resolución de 10 bits fue adecuada para la prueba con la lámina de aluminio y el generador de funciones a una frecuencia máxima de 50 Hz. En la transferencia de datos al PC el sistema no genera pérdida de datos ya que la tasa de pérdida a una rata de 9600 baudios es prácticamente cero, sin embargo, es una comunicación muy lenta y el proceso toma demasiado tiempo.

Durante las pruebas se consideraron los patrones de señales utilizadas capturadas de los generadores de funciones, en la interpretación de la información no se observo perdida de datos ni conversiones erróneas, los patrones verificaron esta conclusión.



a)



b)

Figura 7. a) Señales obtenidas con el sistema implementado, b) las mismas señales capturadas con un dispositivo comercial (NI DAQ 6009)

Después de verificar la validez de la información capturada por el sistema, se procedió con la segunda etapa de pruebas, cuyo objetivo fue medir el comportamiento del sistema en el sistema mecánico de deformación, los resultados fueron los siguientes

En la figura 8 se observa que el sistema puede identificar cambios de 100 gr en la punta de la viga de prueba de manera óptima sin procesar los datos, demostrando de ésta manera la capacidad de adaptabilidad que posee el sistema desarrollado para realizar monitoreo de diversos tipos sistemas sin que tenga que realizarse grandes ajustes y procedimientos de instalación.

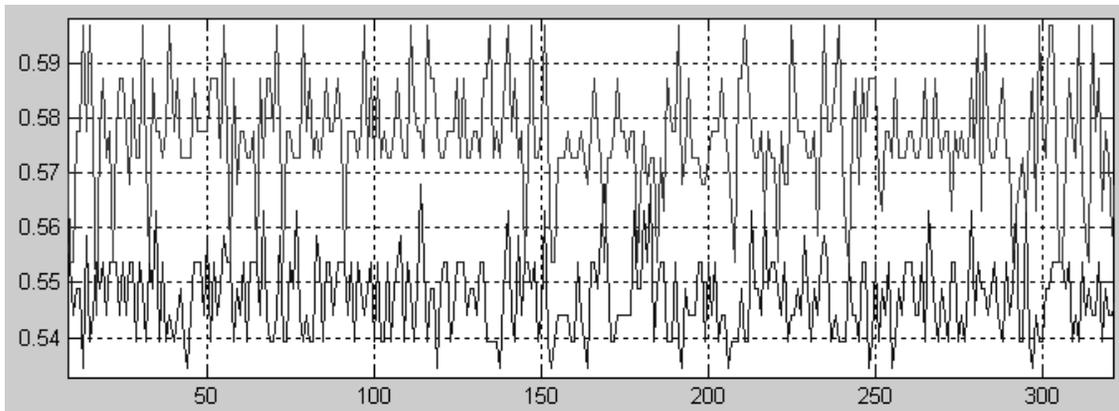


Figura 8. Señal de viga sin peso y con peso de 100 gr

3. CONCLUSIONES

El sistema cumple con los objetivos planteados al comienzo del mismo, sus aplicaciones como SAD son diversas, además de proveer el manejo de la memoria externa, que lo hace bastante particular en referencia a otros y eso añade no solo innovación del desarrollo si no también versatilidad en su aplicación.

Se pudo comprobar que el microcontrolador Atmega8535 es un dispositivo de una gran capacidad, que se convirtió en el centro del desarrollo y fue capaz de realizar el control central de todo el sistema, manejar los tres buses de comunicación y realizar la cuantificación de las señales análogas de manera inteligible.

El sistema desarrollado por ser reconfigurable y expandible permite su adaptabilidad a diferentes tipos de pruebas con implementaciones mínimas a un bajo costo, convirtiéndose en un equipo versátil y confiable.

BIBLIOGRAFÍA

- [01] Grupo de Procesado de Señal Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones, "Tratamiento Digital de la Señal una Introducción Experimental", Capítulo 3, © Los autores, 1999; © Ediciones UPC, 1999.
- [02] José Manuel Murcia Barba, "Puerto Serie RS232", DNI: 47219331D, Ingeniero Técnico en Informática de Gestión.
- [03] José María Drake Moyano, "Instrumentación Electrónica de comunicaciones", Capítulo 3, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones, Universidad de Cantabria, Departamento de Electrónica y Computadores, Santander, 2005.
- [04] Marian Mitescu, Ioan Susnea, "Microcontrollers in Practice", Printed in Germany, © Springer Berlín Heidelberg 2005.
- [05] Ramón Pallás Areny, "Sensores y Acondicionadores de Señal", Editorial Alfaomega Marcombo, 3ra Edición.
- [06] William D. Cooper, Albert D. Helfrick, "Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición", Editorial Prentice Hall.

Páginas de Internet:

- [07] http://www.asifunciona.com/electronica/af_conv_ad/conv_ad_5.htm
Conversión Analógica Digital.

- [08] http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2502.pdf
Manual Microcontrolador Atmega8535.

- [09] <http://www.atmicroprog.com/cours/atmel/uart.htm>
Manejo de la uart.

- [10] http://avr.15.forumer.com/a/at1200-halfduplex-interruptdriven-uartasm_post468.html

- [11] <http://www.captain.at/electronic-atmega-mmc.php>

- [12] <http://www.tolaemon.com/otros/mmccard.htm#memoriasnovolátiles>