

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS POR BUS USB

JAIME BARRERO PÉREZ

Profesor

*Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y Telecomunicaciones
Universidad Industrial de Santander*

*Grupo CEMOS (Grupo de Investigación en Control Electrónico Modelado y Simulación)
jbarrero@uis.edu.co*

JORGE EDUARDO HIGUERA PORTILLA

Ingeniero Electrónico

Universidad Industrial de Santander

*Grupo CEMOS (Grupo de Investigación en Control Electrónico Modelado y Simulación)
maepe3@uis.edu.co*

JORGE LUIS CHACÓN VELASCO

Profesor

*Escuela de Ingeniería Mecánica
Universidad Industrial de Santander*

*Grupo GIEMA (Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente)
jchacon@uis.edu.co*

RESUMEN

En este trabajo se presenta el sistema de adquisición de datos para señales analógicas Diagma D-100, que utiliza el bus USB versión 1.1 utilizando un microcontrolador MC68HC908JB8 como un dispositivo dedicado a la transmisión de datos a través de un módulo USB embebido. De esta forma, se tiene un sistema de inserción plug & play que reduce el tiempo de configuración, además implementa una interfaz de usuario que permite visualizar las señales adquiridas en el dominio del tiempo y la frecuencia y esta orientado a aplicaciones de instrumentación electrónica en motores de combustión interna alternativos MCI A.

PALABRAS CLAVES: USB (*Bus Serial Universal*), *Plug and Play*, *FireWire*, *Instrumento virtual (VI)*, *sistemas automáticos*, *sistemas de adquisición de datos*.

ABSTRACT

This work presents the data acquisition system Diagma D-100 that uses the USB Version 1.1 utilizing a microcontroller MC68HC908JB8 as a device dedicated to the transmission of data through its embedded module USB. This becomes a plug&play system that allows hot insertion, reduces the configuration time. It explores and takes advantage to the maximum the benefits of this asynchronous bus visualizing the signals in time domain and frequency for applications in electronic instrumentation of internal combustion engine.

KEY WORDS: USB (*Universal Serial Bus*), *Plug and Play*, *FireWire*, *virtual instrument (VI)*, *automatic system*, *data acquisition system*.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las interfaces de comunicación con el PC son cada vez más rápidas y flexibles y permiten un manejo fácil por parte del usuario. Un ejemplo es el Bus Universal Serial (USB), una interfaz asíncrona que en los últimos años ha permitido diseñar y construir una gran variedad de dispositivos que emplean este puerto de comunicación. En la primera parte se realiza una descripción del proceso de diseño y construcción del sistema de adquisición de datos por bus USB V1.1, iniciando con la recopilación de las especificaciones USB, la determinación y construcción de todas las herramientas necesarias para el desarrollo del sistema de adquisición de datos a nivel de hardware y software. La segunda parte muestra el diseño del hardware de la tarjeta, describiendo las etapas que la constituyen y sus componentes así como el diagrama de flujo implementado en el microcontrolador, los resultados obtenidos y la transmisión de datos por USB. Por último, se detalla el funcionamiento de la interfaz de usuario empleada para la adquisición y visualización de los datos provenientes del sistema de adquisición de datos.

DESCRIPCIÓN GENERAL

Aprovechando las ventajas del bus *USB V1.1* se diseñó una tarjeta de adquisición de datos USB que cuenta con las siguientes características:

- Cuatro (4) canales analógicos referenciados a tierra (SE) con aislamiento galvánico.
- Un (1) puerto de comunicación *USB 1.1 (Low Speed)*.
- Una (1) salida de sincronismo que permite monitorear la frecuencia de muestreo del convertor ADS7825P.
- Un (1) pulsador para reiniciar la aplicación implementada en el microcontrolador MC68HC908JB8JP (*RESET*).
- Un (1) led indicador de encendido.
- Alimentación mediante fuente dual regulada.
- Frecuencia de muestreo variable entre 5,55Kbps/s y 33,3 Kbps/s para los cuatro canales analógicos de entrada.
- Resolución efectiva de 13 bits.
- Señales de entrada bipolares en el rango de $\pm 10V$.
- Transmisión de datos por bus *USB V1.1*.
- Controlador genérico USB y aplicación de control compatible con Labview 7.1
- Dimensiones: 24cm x 18 cm x 12 cm.

DISEÑO DEL HARDWARE

El sistema de adquisición de datos está distribuido en cuatro etapas principales como se observa en el diagrama de bloques funcional de la Figura 1.

Módulo de Acondicionamiento de Señal

Las cuatro señales analógicas de entrada adquiridas son acondicionadas y aisladas mediante un amplificador de aislamiento galvánico ISO122, por cada canal, para separar las señales de entrada del resto de elementos que conforman el sistema de adquisición de datos. La señal analógica de entrada además es adecuada para los requerimientos de la configuración bipolar del convertor análogo - digital garantizando el rango dinámico de conversión de entrada de -10v a 10v.

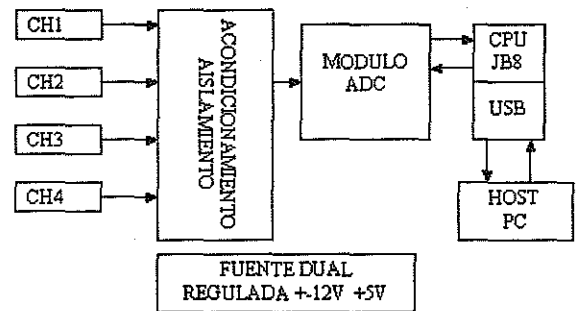


Figura 1. Diagrama de bloques de la tarjeta de adquisición de datos USB

Módulo de Conversión A/D

El sistema de adquisición de datos utiliza el convertor análogo-digital **ADS7825P** de *Texas Instruments* que es un convertor de datos A/D, que cuenta con entradas para cuatro señales analógicas bipolares entre $\pm 10V$; muestreando estas señales a una tasa efectiva de $25\mu s$ (es decir 40Khz), con una resolución de 16 bits por muestra, utilizando la técnica de aproximaciones sucesivas para su funcionamiento, cuenta además con dos interfaces para la descarga de los datos, una interfaz serial SPI y una interfaz de tipo paralelo de 8 bits de datos que requiere la lectura secuencial de 2 bytes de datos para leer la señal convertida. La interfaz paralela fue implementada en la tarjeta de adquisición de datos permitiendo menores retrasos en las muestras adquiridas maximizando la velocidad del convertor A/D.

El convertor **ADS7825P** posee cuatro canales analógicos de entrada que permiten adquirir secuencialmente las señales de entrada. Esto significa que la velocidad de muestreo es inversamente proporcional al número de canales muestreados. Además posee una lógica de multiplexación interna de los cuatro canales analógicos por medio de los pines A0 y A1, permitiéndole al usuario escoger el canal a muestrear según la lógica de multiplexado.

El conversor de datos ADS7825P trabaja en la configuración de dispositivo esclavo dependiendo de una señal de entrada tipo pulso (R/\bar{C}) que determina la frecuencia de muestreo, esta temporización se implementó externa al microcontrolador empleando dos multivibradores redisparesables 74HC123 que generan los pulsos requeridos por el conversor A/D.

En la fase de adquisición, el monoestable 1 del multivibrador 74HC123 genera los pulsos de adquisición de datos a la entrada BYTE del conversor ADS 7825P (pin 21) y al microcontrolador MC68HC908JB8JP (pin 6); esta retroalimentación con el microcontrolador le asegura la toma de datos válidos a la frecuencia de muestreo del conversor ADS7825P. El segundo monoestable genera los pulsos de conversión a la entrada R/\bar{C} del conversor ADS 7825P (pin 22). Parámetros tales como el ancho de pulso de conversión y adquisición están definidos en la hoja de datos del conversor ADS7825P [1]. El ancho de pulso de las señales que intervienen en la etapa de conversión, está dado por la ecuación (1) donde R_x y C_x son los valores de resistencia y capacitancia respectivamente de la red RC del oscilador utilizado para el control de la frecuencia de conversión A/D:

$$t_w = 0.45 * R_x * C_x \quad (1)$$

Módulo de Control

El módulo de control esta compuesto por un microcontrolador de 8 bits de la familia HC08 de Freescale (Motorola) que responde a las características de manejo del bus USB versión 1.1, entre los encapsulados se destaca el MC68HC08JB8JP y el MC68HC08JT8; cada uno cuenta con un número de entradas / salidas diferentes dependiendo del encapsulado, de los cuales el MC68HC908JB8JP es de tipo *dual input line* (DIP) de fácil adquisición en el mercado local. El microcontrolador MC68HC908JB8JP, se encarga de las labores de control del conversor analógico digital, el envío de los datos al PC a través de su modulo interno USB 1.1, tal y como se describe en la Figura 2.

Módulo de Transmisión por Bus USB V1.1

El módulo de transmisión USB se desarrolló por medio del microcontrolador MC68HC908JB8, el cual cuenta en su arquitectura con un módulo de comunicaciones USB V1.1. Este tipo de comunicación le permite a la tarjeta de adquisición de datos conectarse al host PC de manera

flexible utilizando un conector USB estándar, un controlador genérico de dispositivos USB para microcontroladores MC68HC908JB8 y las aplicaciones desarrolladas en Visual Basic 6.0 y Labview 7.1 para la visualización de los datos.

EL BUS SERIAL UNIVERSAL (USB)

El bus serial universal (USB) es el resultado de un gran esfuerzo cooperativo de la industria del PC, su inclusión y soporte en los sistemas operativos actuales definen al moderno computador personal (PC). Entre las características mas importantes que destacan al bus USB se encuentran que los periféricos USB pueden ser conectados al PC mientras el sistema operativo esta en funcionamiento normal, los dispositivos genéricos conectados son reconocidos inmediatamente por el PC, los controladores apropiados y su configuración es transparente al usuario. Todos los dispositivos USB poseen un conector del mismo tipo. La velocidad de transferencia de datos es mucho mayor que un puerto serie o paralelo. Se pueden conectar hasta 127 periféricos USB al PC, además muchos periféricos USB no requieren alimentación externa para su funcionamiento, poseen bajo consumo de potencia cuando no están en operación normal, permiten la detección y corrección de errores en las transacciones y no se requiere abrir el PC o diseñar tarjetas adicionales e instalarlas internamente en el PC.

Capas de la Comunicación USB

El bus USB soporta una serie de tres capas las cuales se muestran en la Figura 2. Cada capa tiene una función específica y trabaja en conjunto con las otras capas para hacer la comunicación USB transparente al usuario final.

Capa Física

La capa física forma la base de la comunicación USB y consiste del hardware que transmite las señales diferenciales en el protocolo (NRZI). En el host la capa física se divide en dos partes: el motor de interfaz serial (SIE) y el controlador de host (HC). El motor de interfaz serial desarrolla las funciones serialización de las transmisiones, codificación y decodificación de las señales, chequeo de redundancia cíclica (CRC) y la detección del identificador de paquete (PID). El controlador del host inicializa las transacciones y controla el acceso al bus USB, además divide el tiempo según las tramas de datos.

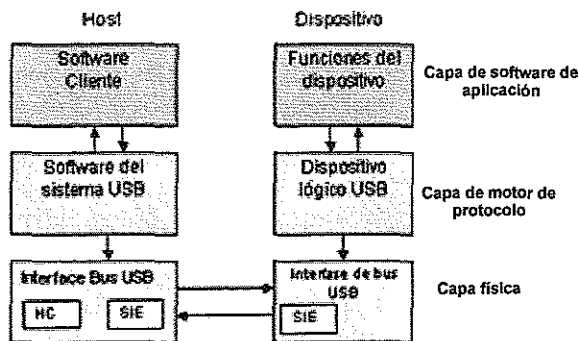


Figura2. Capas de la comunicación USB

Capa de Motor de Protocolo

Esta capa intermedia se refiere al software del sistema USB en el host y a la lógica del dispositivo USB en el dispositivo USB externo. El software del sistema USB incluye el ancho de banda y maneja la alimentación del bus. Provee la interfaz para el controlador del host, además, identifica, enumera y sirve a requerimientos de datos de dispositivos en el bus. El dispositivo lógico USB está compuesto de uno o más buffers unidireccionales (endpoints) que transfieren datos. La tarjeta de adquisición de datos USB posee un endpoint para salida de datos y uno para entrada de datos así como un endpoint de configuración.

Capa de Aplicación

En el host la capa de aplicación es el software cliente a través del cual el usuario interactúa con el dispositivo USB. Desde el punto de vista del dispositivo USB, la capa de aplicación, es simplemente las funciones que el dispositivo desempeña. Para la tarjeta de adquisición de datos diseñada esta capa es el driver genérico de Thesycom en el host PC, y las funciones de lectura y escritura en el microcontrolador JB8 de Freescale.

Protocolo USB

Todas las transacciones USB son llevadas a cabo en paquetes. Existen tres tipos de paquetes para llevar a cabo una transacción: paquetes token, datos y handshake. Las transacciones hacen parte de transferencias de datos. Así mismo las transferencias de datos pueden ser de cuatro tipos diferentes.

Tipos de Paquetes USB

Si el host está listo para enviar o recibir paquetes emite un paquete de token para direccionar el dispositivo. Este

paquete está compuesto por un identificador de paquete, la dirección del dispositivo, el endpoint y el chequeo de errores. Una vez el host envía el paquete de token al dispositivo, éste inicia el envío o recepción de los paquetes de datos. Los paquetes de handshake son opcionales indicando si hubo errores durante la transmisión.

Tipos de Transferencias USB

El primer tipo de transferencia es isócrona, que garantiza un ancho de banda pero se enfoca menos en la exactitud de los datos. Este tipo de transferencia no tiene fase de *handshake*. Las aplicaciones de audio y video utilizan este tipo de transferencia debido a que la velocidad de transmisión es esencial presentándose pequeños errores que no son retransmitidos.

Otro tipo de transferencia de datos es el tipo *bulk*, generalmente usado para dispositivos como impresoras y escáneres que pueden variar el ancho de banda enfocándose en la exactitud de los datos.

También existen transferencias por interrupción implementadas en teclados, "ratones" y otros dispositivos de entrada salida que requieren reportar pequeñas tramas de datos, definiendo en su configuración inicial el intervalo de tiempo en el cual se envía o recibe información. El *host* debe encuestar al dispositivo a un intervalo de tiempo específico para verificar si se ha generado una interrupción.

El último tipo es la transferencia de control, la cual es usada por el *host* para configurar el dispositivo, especialmente en la fase de enumeración del dispositivo pero puede ser usada en cualquier momento para procesos de comunicación.

Tipos de Velocidades USB

La versión USB 2.0 ha establecido tres tipos de velocidades de transferencia de datos: Alta velocidad (480Mbps), mediana velocidad (12Mbps) y baja velocidad (1.5Mbps).

Cable y Conectores USB

La conexión física del dispositivo USB al PC se establece mediante un cable de cuatro hilos de los cuales dos son de alimentación (5V y gnd) y dos son de datos (D+ y D-). La distribución de pines del conector USB se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Asignación de pines estándar para un conector USB

| contacto | señal | color |
|------------------|---------------------|------------------|
| 1 | V _{bus} | Rojo |
| 2 | D- | Blanco |
| 3 | D+ | Verde |
| 4 | GND | Negro |
| Shell (Cubierta) | Shield - Protección | Cable de drenaje |

Los cables USB tienen dos tipos de conectores estándar, conector A (ubicado en el *host* PC) y conector B (ubicado en el dispositivo USB). El cable USB permite alimentar los dispositivos externos USB dependiendo del consumo de corriente. Para menos de 500mA se puede alimentar el dispositivo USB desde el bus. Para más de 500mA de corriente se requiere una fuente de alimentación externa para el dispositivo USB.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ADQUISICIÓN

El sistema de adquisición está implementado como un dispositivo dedicado a la transmisión de datos USB (V1.1) de cuatro señales analógicas de entrada a una tasa efectiva de 800 bytes por segundo; que es la velocidad más alta posible en la configuración de transferencias de datos por interrupción del microcontrolador MC68HC908JB8. El diagrama de flujo del proceso de adquisición de datos se muestra en la Figura 3.

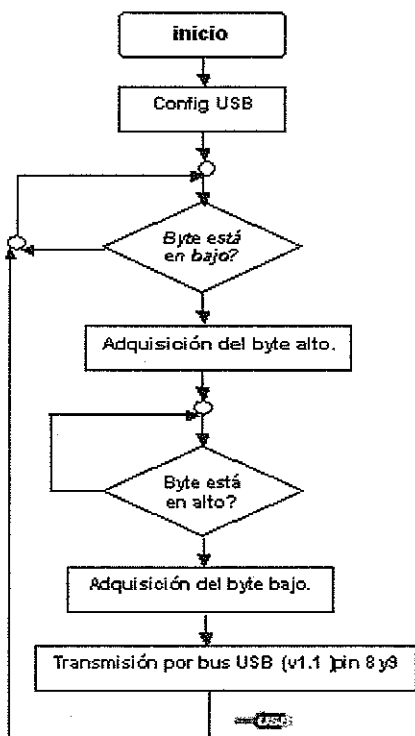


Figura 3. Diagrama de flujo implementado en el microcontrolador MC68HC908JB8JP de Motorola

Es importante resaltar que aunque el bus USB del microcontrolador MC68HC908JB8 no está diseñado para transferencias síncronas, la tarjeta ADQ USB garantiza transferencias de datos en tiempo real, que si bien se realizan a una tasa relativamente baja comparada con otros dispositivos en el mercado, es posible incrementarla fácilmente utilizando un controlador externo dedicado USB 2.0.

Bloque de Inicio

Las rutinas de este bloque incluyen el código de inicialización (*firmware*) del dispositivo, el cual habilita la comunicación con el manejador (*host*) y otros periféricos. El bloque de inicio se encarga principalmente de configurar el hardware y permitir al dispositivo el intercambio de datos necesarios en ambas direcciones; además debe chequear periódicamente el tipo de transferencia que se envía al dispositivo, en particular si se refiere a un paquete *Setup*, ante el cual debe responder abandonando la transferencia en curso y atendiendo la petición actual.

Cuerpo del Código

Corresponde a la etapa de adquisición de datos válidos en el conversor A/D.

La señal de adquisición de datos efectivos (BYTE) a la entrada del conversor ADS7825P (pin 21) y salida del primer monoestable, es la que permite encuestar y leer los bytes de información mediante el puerto A del microcontrolador MC68HC908JB8JP (pines 12 al 19). El *byte* alto del dato del canal muestreado por el conversor ADS7825P, se lee cuando al encuestar el estado de la línea BYTE (pin 21) del conversor ADS7825P esta en bajo, y el *byte* bajo de la misma muestra se toma cuando el estado de la línea BYTE (pin21) del conversor ADS7825P está en alto [1].

Transmisión por Bus USB 1.1

En este caso particular el módulo USB 1.1 del microcontrolador, cuenta con un canal de comunicación de entrada (*pipe IN*) que permite el envío de datos en el momento en que la aplicación del manejador (*host*) habilite el canal y comience la lectura [2].

Así, de manera continua y sin bifurcaciones para evitar saltos y demoras innecesarias, se ejecuta un único lazo en el programa principal que garantiza el envío de datos de las cuatro señales analógicas muestreadas por el conversor A/D ADS7825P a una tasa de 40kHz y siendo transmitidos los datos por bus USB 1.1.

INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

La interfaz gráfica consta de dos aplicaciones que pueden ejecutarse simultáneamente, una principal que fue diseñada en LabView 7.1 Express y una secundaria diseñada en Visual Basic 6.0, cada una de estas aplicaciones con una función particular.

Aplicación Desarrollada

La interfaz desarrollada en Visual Basic 6.0 emplea la librería `usbicom.dll` para configurar el dispositivo USB y adquirir los datos. Estos datos son almacenados en un archivo binario, a medida que se adquieren. La interfaz permite al usuario realizar adquisiciones automáticas, finalizando la adquisición ya sea por límite de tiempo, o por su tamaño. El nombre del archivo binario donde se almacenan los datos es asignado por el usuario. La interfaz fue compilada en un archivo ejecutable llamado Aplicación. La aplicación (Aplicación.exe) se encarga de enumerar los dispositivos USB controlados por el driver USBIO que se encuentran conectados al PC, e inicia una comunicación con la tarjeta asumiendo que es el único dispositivo enumerado. Luego configura la tarjeta y abre un canal para la transmisión de los datos. Este procedimiento es ejecutado automáticamente cuando se hace clic en el botón "Abrir dispositivo" de la interfaz. Una vez configurada la tarjeta, se habilita el botón que permite iniciar y detener la lectura de los datos. La barra de progreso muestra el porcentaje de los datos adquiridos, de acuerdo con el tipo de adquisición automática seleccionada. Cuando se genera el evento de Lectura completada, se emplea el método `Leer datos (ReadData)` para tomar los datos del buffer de recepción del *Host* y almacenarlos en el archivo binario. Al terminar la lectura de los datos, la aplicación adiciona al final del archivo binario el tiempo total de la adquisición con el cual se realizará una aproximación de la tasa de transferencia.

Es posible cargar esta aplicación las veces que se requiera, pero es necesario reiniciar la tarjeta para evitar problemas de configuración de la misma.

Aplicación en Labview 7.1

Para la visualización de los datos adquiridos se desarrolló la interfaz gráfica en LabView 7.1 que se muestra en la Figura 4. El usuario debe seleccionar el archivo binario donde se encuentran los datos que desea analizar, o si es el caso, alguna gráfica que haya sido almacenada en una sesión previa. Cuando se abre una gráfica almacenada previamente, no es necesario realizar ninguna de estas operaciones,

debido a que los datos ya han sido procesados. Los datos son desplegados en la interfaz, y pueden ser procesados de acuerdo a las necesidades del usuario empleando las opciones adicionales. La interfaz gráfica cuenta con las siguientes opciones adicionales:

- Visualización de los datos en el dominio del tiempo y de la frecuencia (transformada rápida de Fourier con ventana de Hanning); también puede seleccionar los canales de la tarjeta que desea visualizar y su respectivo color.
- Filtrado de las señales empleando tres tipos diferentes de filtros de tercer orden (pasabajas, pasabanda y pasa altas) con tres topologías diferentes (butterworth, Chebyshev y Bessel).
- *Trigger* con la posibilidad de seleccionar el nivel de la señal y el flanco, además del canal con el cual se desea lanzar el disparo.
- Generación de reportes en formato HTML o texto .txt para impresión.
- Almacenamiento de gráficas en otros formatos que facilitan la exportación de los datos a otros programas.

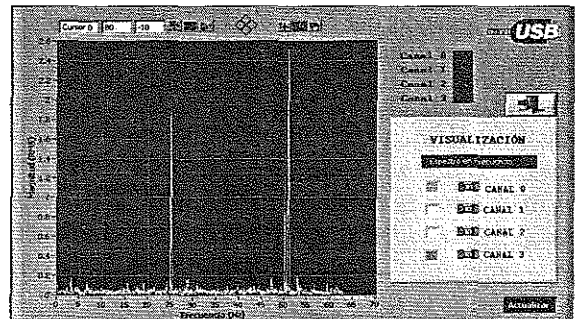


Figura 4. Interfaz Tarjeta ADQ USB

Para la implementación de estas opciones se emplearon los VTs Express de LabVIEW, con algunas modificaciones para que se ajustaran a las necesidades del usuario. La interfaz también cuenta con un cuadro de ayuda que explica brevemente la opción donde se encuentra posicionado el cursor. Esto permite al usuario orientarse sobre las posibilidades de la interfaz.

CONCLUSIONES

- Aunque los dispositivos de baja velocidad, bajo el estándar USB V1.1, poseen un bus de 1.5Mbps, el sistema de adquisición de datos desarrollado en la configuración por interrupción, posee una tasa efectiva de 800 bytes por segundo, ya que el protocolo envía 8 bytes de datos cada 10ms, acompañados de información adicional como bits de estado, control y chequeo de errores.

- La temporización de un dispositivo USB requiere del uso de un reloj (timer) que garantizó los periodos de latencia y peticiones entre el manejador (*host*) y el dispositivo, permitiendo realizar transferencias en los tiempos estipulados en el estándar USB, que para el caso de la versión 1.1 corresponde a un período de interrupción de 1ms.
- En transferencias de tipo interrupción, el tiempo de latencia para dispositivos USB 1.1 de baja velocidad varía entre 10 y 255ms debido a que el manejador (*host*) es libre de transferir datos tan rápido como sea la frecuencia de envío de peticiones.
- La tarjeta de adquisición de datos USB trabaja con un conversor A/D de 16 bits de los cuales se logra una resolución efectiva de 13 bits, debido al paso de conversión que es del orden de la décima parte del ruido presente en el sistema.
- La detección y corrección de errores es realizada automáticamente por software a través del *host*, por lo que no es necesario incluir una rutina que realice esta operación en el firmware del dispositivo o en la Interfaz gráfica encargada de la adquisición.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo de CINTEL COLCIENCIAS y los grupos de investigación CEMOS y GIEMA de la Universidad Industrial de Santander.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] COMPAQ Computer, et al. Universal Serial Bus Specification Rev 1.1., Forum USB. USA. 1998. 311p
- [2] AXELSON J. USB complete. 2ed. Lakeview Research. USA. 2001.
- [3] HYDE J. USB Designed by example. 2ed. Jhon Wiley & Sons. USA. 1999.
- [4] AXELSON J. USB complete. Home page. <http://www.lvr.com/>. Lakeview Research. USA. 2004
- [5] NATIONAL Instruments.. LabVIEW 7.1. manual de usuario. National Instruments. USA. 2004.
- [6] FREESCALE. Technical Data MC68HC908JB8 Rev 2.1. Motorola. USA. 2003. 284p
- [7] FREESCALE. USB evaluation board using the MC68HC908JB8. Motorola. USA. 2001. 242p
- [8] ANALOG DEVICES. Practical design techniques for sensor signal conditioning. Estados Unidos. Analog Devices. 1999. p 5.26-5.28

- [9] PALLAS ARENY RAMON. Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona España. Alfa omega grupo editor 2001.
- [10] LAZARO MANUEL ANTONIO. Labview 6i programación gráfica para el control de instrumentación. Editorial paraninfo Madrid España 2001.
- [11] MANTILLA G. IVONNE A, HERNÁNDEZ P. NATHALIE. Diseño e Implementación de una Tarjeta de Adquisición de Datos por Bus USB. Tesis de Pregrado. UIS. Bucaramanga Colombia. 2004.
- [12] BARREROP. JAIME, CHACON L. JORGE, HIGUERA P. JORGE. et al. Ponencia Sistema de Adquisición de Datos por Bus USB. VI Congreso Nacional Asociación Colombiana de Automática. Universidad de Ibagué Colombia. Noviembre 11 al 13 de 2004.

AUTORES

Jaime Barrero Pérez Ingeniero Eléctricista UIS 1988. Magíster en Potencia Eléctrica UIS 2000. Profesor Asociado UIS. Bucaramanga Colombia. Tel. 6344000 ext 2708 jbarrero@uis.edu.co Bucaramanga, Colombia.



Jorge Eduardo Higuera Portilla. Ingeniero Electrónico UIS 2002. Candidato a Magíster en Ingeniería área Ingeniería Electrónica UIS 2004. Auxiliar de Investigación Universidad Industrial de Santander. Tel. 6344000 ext 2491 maepe3@uis.edu.co Bucaramanga, Colombia.



Jorge Luis Chacón Velasco. Director Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente GIEMA. Escuela de Ingeniería Mecánica Universidad Industrial de Santander. Ingeniero Mecánico Instituto Politécnico de Bielorrusia 1985. Magíster en Automática e Informática Industrial Francia 2001. Doctorado en Procesos Termofluidodinámicos aplicados a MCIA. Tel. 6344000 ext 2814 jchacon@uis.edu.co Bucaramanga, Colombia.

