

Adquisición y Transmisión de Datos en Ambientes de Difícil Acceso o Expuestos a Interferencia Electromagnética

Leonardo Montero Flores, Cristian Sisterna, Eduardo Gargiulo, Jorge Santalucia, Carlos Gil(*), Gustavo Ensink(*), Carlos Dell'Aquila(*), Gabriel Cañadas(*)

leomontero2004@yahoo.com.ar; cristian@unsj.edu.ar; egargiulo@unsj.edu.ar; jrsanta@unsj.edu.ar; cgil@unsj.edu.ar(*); gustavo@unsj.edu.ar(*); carlos.dellaquila@gmail.com(*); gcanadas@unsj.edu.ar(*)

Instituto de Investigaciones Antisísmicas, * Laboratorio Electrónica Digital,
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan

Resumen: *El presente trabajo describe la implementación de un sistema de adquisición de datos de bajo costo, programable, con gran capacidad de almacenamiento y con interfaces de comunicación por cable de cobre, fibra óptica y señales de radio, que satisface la necesidad del Instituto de Investigaciones Antisísmicas (IDIA) de la UNSJ de contar con un dispositivo versátil capaz de operar en ambientes de difícil acceso o expuestos a interferencia electromagnética.*

Palabras clave: *Microcontrolador, Data logger, USB, GPRS, Fibra Óptica, Memoria SD.*

I. INTRODUCCIÓN

En el laboratorio de electrónica del Instituto de Investigaciones Antisísmicas (IDIA) surge la necesidad de contar con un sistema programable de adquisición y transmisión de datos de bajo costo, confiable, con gran capacidad de almacenamiento, y lo suficientemente robusto y versátil para operar durante tiempos prolongados en entornos de difícil acceso o expuestos a interferencia electromagnética (en escenarios como líneas eléctricas de alta tensión y en ambientes industriales y rurales).

Esta necesidad se origina por la gran diversidad de variables físicas que deben ser adquiridas, procesadas y analizadas en distintos proyectos encarados en el Instituto, y debido también a la heterogeneidad de escenarios en que las mismas deben ser colectadas.

Luego de un estudio detallado de las prestaciones necesarias con que debería contar un sistema de adquisición de datos para cada uno de los distintos proyectos en los que se desea usar este sistema, se arriba a la conclusión de que es posible englobar las prestaciones necesarias en un único sistema que sirva como sistema base para diversos proyectos de investigación y desarrollo, ayudando de esta forma a acelerar los tiempos de producción de resultados experimentales debido a que se parte de un sistema

conocido, con gran cantidad de documentación y con soporte total en caso de desconfiguración o avería. Se añade además la posibilidad de que el mismo sistema base sea utilizado como sistema de desarrollo y aprendizaje de técnicas de comunicación y microprogramación para estudiantes relacionados en forma directa o indirecta con el Instituto.

Teniendo en cuenta los requerimientos y necesidades mencionadas anteriormente, se concluye que el sistema base a desarrollar debe ser de bajo costo, para facilitar su obtención en escala considerable; ser programable en forma sencilla por una interface con computadora personal, para dotarlo de máxima versatilidad; contar con gran capacidad de almacenamiento, para no limitar sus posibilidades de adquirir gran cantidad de datos; contar con distintas interfaces de comunicación, por cable de cobre, por fibra óptica y por vía inalámbrica, para su utilización en la mayor cantidad de escenarios posible; contar con distintas fuentes de alimentación, para su utilización con fuentes conectadas a una red de suministro eléctrico o con baterías; contar con soporte para conexión de sensores de diversas tecnologías, ya sean éstas analógicas o digitales.

Actualmente en el mercado no se cuenta con un dispositivo que reúna todas las características mencionadas, ni mucho menos a un costo razonable. Gran parte de los sistemas de adquisición de datos comerciales son fabricados para sensar variables específicas mediante un diseño compacto y con pocas o nulas capacidades de programación o reconfiguración. Por ello se realiza en el Instituto el diseño e implementación completo del sistema de adquisición de datos, incluyendo el diseño y fabricación de placa de circuito impreso a doble faz para componentes de montaje superficial.

II. SISTEMA IMPLEMENTADO

El núcleo del sistema es el microcontrolador de 8 bits MC9S08JM60 [1] de la firma Freescale. Motivan dicha

elección varios factores, tales como fácil adquisición en el mercado, gran cantidad de documentación disponible y su robustez y fiabilidad; por otro lado por su conocimiento y manejo por parte de estudiantes de ingeniería electrónica, ya que uno de los objetivos buscados con el sistema es su implementación como sistema de desarrollo didáctico.

El sistema de adquisición de datos base consta de las siguientes características:

- Control del sistema: Microcontrolador de 8 bits Freescale MC9S08JM60
- Almacenamiento: Memoria micro SD de 2 GB
- Programación: Por puerto BDM y puerto USB (bootloader)
- Alimentación: Por puerto USB, fuente externa y batería Li-ion
- Comunicación: Por puerto USB, fibra óptica de plástico y GSM/GPRS
- Regulador de voltaje LDO de 3.3 Volt incluido en la placa PCB
- Cargador de batería Li-ion incluido en la placa PCB
- 4 pulsadores y 8 leds incluidos en la placa PCB
- Puerto de expansión para sensores con soporte para protocolos RS232, I2C, SPI y entradas analógicas a un convertor analógico-digital ADC.
- Una entrada de interrupción al microcontrolador
- 14 Entradas/Salidas de propósito general

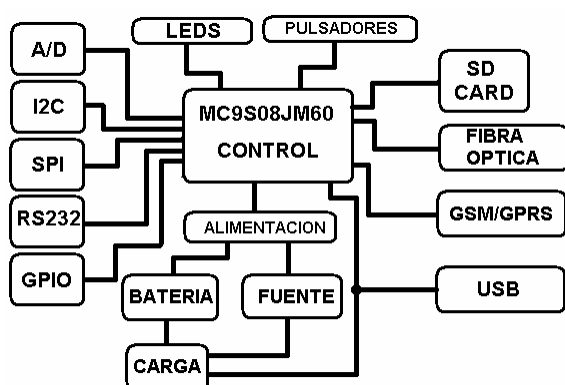


Fig. 1.- Diagrama en bloques del sistema implementado

Figura 1 muestra el diagrama en bloques del sistema de adquisición de datos implementado.

III. FABRICACION PLACA DE CIRCUITO IMPRESO

Con el objeto de lograr un dispositivo robusto y compacto se utilizan sólo componentes de montaje superficial (SMD por sus siglas en inglés), en encapsulados como PLCC, QFP, QFN, SOT, MSOP y SOIC para circuitos integrados, y SMD1206, 0805 y 0603 para componentes pasivos como resistencias, capacitores e inductancias.

La placa de circuito impreso se realiza mediante método fotográfico a doble faz en placa PCB de fibra de vidrio. La técnica utilizada para la obtención de la placa de

circuito impreso, sumada a la calidad de los materiales fotosensibles y a la experiencia del equipo del laboratorio encargado de esta tarea permiten obtener resultados óptimos en circuitos con pistas de hasta 0,27 mm de ancho, lo que posibilita el diseño y fabricación de placas de circuito impreso en pequeña escala o escala experimental para la mayor parte de encapsulados de montaje superficial obtenibles en el mercado actual.

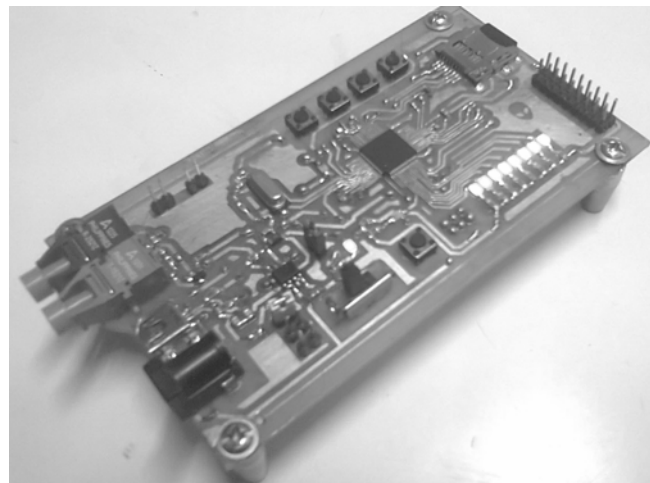


Fig. 2.- Módulo principal del sistema implementado

IV. SOFTWARE DEL MICROCONTROLADOR

Como ya se mencionó se utiliza el microcontrolador de 8 bits MC9S08JM60 de Freescale que cuenta con 60 KB de memoria flash para alojar programas de usuario.

Este microcontrolador puede programarse en lenguaje C mediante el compilador CodeWarrior de la firma. Para facilitar la reconfiguración del dispositivo para cumplir con los requerimientos de distintos proyectos de adquisición de datos, se ha escrito una cantidad de rutinas para acceder a todas las prestaciones incluidas en la placa. De este modo se cuenta con rutinas para comunicación USB, por fibra óptica y módem GPRS, rutinas para acceso a memoria SD, rutinas para los protocolos I2C, RS232 y SPI, rutinas para sensar variables analógicas en forma directa a través de canales de un convertor A/D y rutinas para interrupciones provenientes de pulsadores y para señalización a través de LEDs de montaje superficial.

La descarga del programa compilado a la memoria flash del microcontrolador se puede realizar por dos vías. Una de las vías es posible gracias a la inclusión de un puerto de programación dedicado denominado BDM (Background Debug Mode) y que en conjunto con el software CodeWarrior permite no sólo la escritura del programa en memoria sino también su ejecución paso a paso a efectos de depuración del firmware. Para acceder al puerto BDM es necesario contar con un dispositivo programador adicional.

La otra vía de programar la memoria flash del microcontrolador, en caso de no contar con el programador necesario para acceder al puerto BDM, es a través de la propia interface USB provista en la placa, en conjunción con

un programa previamente grabado en la memoria del dispositivo y denominado bootloader [2].

V. ALMACENAMIENTO DE DATOS

El almacenamiento de los datos adquiridos por el sistema se realiza en una memoria micro SD de 2GB. Las ventajas de usar este tipo de memorias son muchas y pueden resumirse en tres principales: Primero es destacable su gran capacidad de almacenamiento, no comparable con la capacidad de almacenamiento de registradores o data logger de tecnologías anteriores. Para graficar una idea de la potencia de almacenamiento se supondrá que deben tomarse muestras de datos con resolución de 12 bits a una tasa de 10 muestras por segundo. Con una memoria de 2 GB se pueden almacenar más de $1,4 \times 10^9$ muestras en el término de 1600 días.

La segunda característica ventajosa es la posibilidad de implementar en el microcontrolador un sistema de archivos FAT con el que se pueden crear, modificar, eliminar y organizar gran cantidad de archivos en la memoria SD de una forma eficiente. Esta característica es la que se utiliza para la implementación del dispositivo descrito. Se utiliza un stack que permite organizar archivos en el sistema FAT16.

La tercera característica es su posibilidad de remoción de la memoria, ya que este tipo de memorias van insertas en un zócalo. Esta característica hace posible que la memoria pueda removerse fácilmente y ser leída en cualquier lector de tarjetas SD, mientras se coloca en el sistema otra memoria para seguir con la adquisición de datos.

VI. TRANSMISIÓN DE DATOS

El dispositivo de adquisición de datos expuesto posee la capacidad de trabajar en distintos ambientes gracias a su capacidad de operar con varias fuentes de alimentación que incluyen fuente externa conectada a red de suministro eléctrico, puerto USB o batería de Li-ion y principalmente a su capacidad de comunicación por medios guiados eléctricos, mediante puerto USB, guiados ópticos, en un enlace de fibra óptica y no guiados, a través de comunicación inalámbrica con módem GSM/GPRS.

En aplicaciones desarrolladas en ambientes no hostiles y con acceso directo a una computadora es altamente recomendable el uso de interface USB tanto para la alimentación del dispositivo como para acceder a los datos provenientes de sensores en tiempo real o almacenados en la memoria del sistema. Para ambientes expuestos a interferencia electromagnética, por ejemplo mediciones en líneas de alta tensión, o donde la seguridad de los datos sea un factor a tener en cuenta, la interface por fibra óptica es la elección natural. Mientras que la interface inalámbrica es utilizada en aquellas aplicaciones donde el acceso periódico al sistema de adquisición de datos sea dificultoso o en registro de datos donde el cableado sea no conveniente o económicamente no viable, tal como instalación de sensores en proyectos agrícolas.

A continuación se describen en forma resumida las características más sobresalientes de las interfaces de comunicación implementadas.

A) Por USB

Se implementa interface de comunicación USB 2.0 en dos modos: HID y CDC. En el modo HID (Human Interface Device), utilizado normalmente para comunicación con dispositivos como teclados y ratones, se implementa un dispositivo genérico para transferencia bidireccional cuyo tamaño de datos puede ser modificado en el firmware del microcontrolador. Este firmware, que incluye todo el soporte para la utilización del módulo USB del microcontrolador, alberga una estructura de datos autodestructiva denominada Report Descriptor que indica la utilización del dispositivo, en este caso dispositivo USB genérico, la cantidad de datos, el tamaño de éstos y si se envían o reciben desde el Host (PC). A modo de ejemplo en la Figura 3 se muestra un Report Descriptor que describe a un dispositivo USB genérico que envía datos de 8 bits al Host.

```

Report Descriptor:
* 0x06, 0x00, 0xFF, // USAGE_PAGE (Vendor
Defined)
* 0x09, 0x01,      // USAGE (Vendor Usage 1)
* 0xA1, 0x01,      // COLLECTION (Application)
* 0x15, 0x00,      // LOGICAL MINIMUM (0)
* 0x26, 0xFF, 0x00, // LOGICAL MAXIMUM (255)
* 0x75, 0x08,      // REPORT SIZE (8)
* 0x09, 0x01,      // USAGE (Vendor Usage 1)
* 0x95, 0x01,      // REPORT COUNT (1)
* 0x81, 0x02,      // INPUT (Data,Var, Abs)
* 0xC0             // END_COLLECTION

```

Fig. 3.- Ejemplo de Report Descriptor

El modo CDC (Communication Device Class) es utilizado para que el dispositivo de Adquisición de datos se comunique con un Host a través de un puerto serie virtual, pudiendo de esta forma lograr una comunicación directa con aplicaciones software que hagan uso de un puerto serie, como Hyperterminal o Matlab. Resulta muy provechosa una comunicación en tiempo real con el software Matlab debido a su gran potencia para análisis matemático.

A los efectos del aprovechamiento del sistema de adquisición de datos como herramienta didáctica, se implementa un software genérico de comunicación con el puerto USB ya sea en modo HID o CDC y que permite visualizar los datos obtenidos de sensores en tiempo real y su registro en un archivo para posterior análisis. La Figura 4 es una captura de pantalla de dicho software registrando datos provenientes de un acelerómetro adherido a estructura vibrante para ensayos antisísmicos.

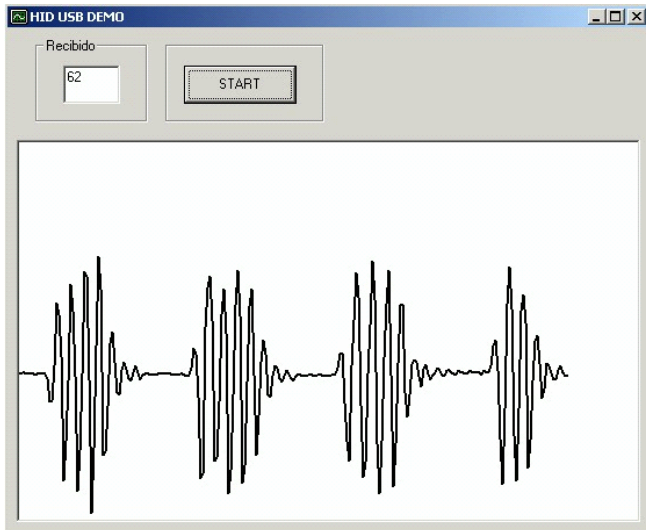


Fig. 4.- Gráfico de datos provenientes de acelerómetro

B) Por Fibra Óptica de Plástico

Se implementa interface de comunicación por fibra óptica de plástico. La fibra óptica de plástico (POF, Plastic Optic Fiber) [3] es un filamento formado por dos polímeros concéntricos, el interior denominado núcleo y el exterior revestimiento. El núcleo propaga a lo largo de toda su longitud una señal óptica y el revestimiento protege el núcleo, controla y confina la luz para evitar su fuga y dispersión. Figura 5 detalla la estructura del cable POF.

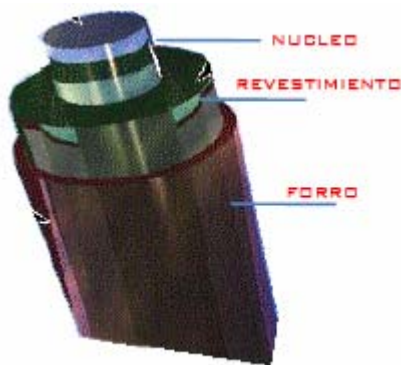


Fig. 5.- Estructura de un cable de fibra óptica de plástico

La elección de fibra óptica de plástico frente a fibra óptica de vidrio se debe a las siguientes ventajas aportadas por la fibra de plástico:

- Componentes sencillos y baratos
- Peso ligero
- Operación con luz visible
- Gran flexibilidad con mayor tolerancia a curvaturas, choques y vibraciones
- Inmunidad a interferencias electromagnéticas

- Fácil de manipular y conectar, debido a que sus diámetros son de 1 mm comparados con los 8 o 100 μm para el vidrio
- Uso de equipos sencillos y baratos
- Los transeptores con POF requieren menos consumo que los de cobre

Como transeptores de fibra óptica se utilizan los modelos de la serie Versatile Link de AVAGO Technologies [4], pudiendo operar con un baud rate desde DC hasta 5 MBd.

Figura 6 muestra la propagación de un haz luminoso por el cable POF.

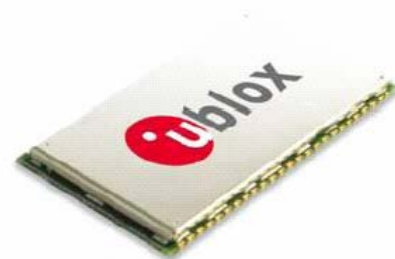


Fig. 6.- Haz luminoso en el extremo de un cable POF

C) Por Módem GSM/GPRS

Se implementa una interface de comunicación inalámbrica mediante un módem GSM/GPRS modelo LEON-G200 de la firma U-blox [5] que cuenta con las siguientes características relevantes:

- Audio analógico
- Audio digital
- Pila de protocolo TCP/IP y UDP/IP
- Soporte para FTP, HTTP, SMTP
- Puerto RS232
- Puerto I2C



29.5 x 18.9 x 3.01 mm

Fig. 7.- Módem utilizado en el sistema

El control, configuración y envío y recepción de datos del módem se realiza por comandos AT o comandos de

Hayes (comandos estándar para módems) a través de su puerto RS232.

El sistema de adquisición de datos expuesto hace uso de este módem tanto en la red GSM para envío y recepción de mensajes de texto (SMS) como para llamadas entrantes y de la red GPRS para envío y recepción de paquetes de datos.

El envío y recepción de mensajes de texto es utilizado en aplicaciones que involucren bajo volumen de información, como en el caso de informes periódicos de límites en las variables monitoreadas por los sensores del sistema, por ejemplo alarma de temperaturas máximas y mínimas, alarma de intrusión en sistemas de acceso restringido, etc. En estos casos el dispositivo envía un mensaje comunicando la situación a uno o más números telefónicos incorporados a la memoria del sistema al momento de la programación.

El módem para funcionar en una red celular debe contar con un número telefónico proporcionado por una SIM card, siendo posible realizar llamadas al dispositivo para que el mismo realice alguna tarea, como activar o desactivar algún equipo determinado.

Para la utilización de la red de datos GPRS, es necesario iniciar sesión en el gateway de un proveedor de servicios. Para esto deben suministrarse datos como APN (Access Point Name), usuario y clave. Una vez iniciada la sesión el proveedor de servicios asigna una dirección IP al dispositivo de adquisición de datos junto con la dirección IP del DNS (Domain Name Server) a utilizar. A continuación, y haciendo uso de la pila o stack TCP/IP o UDP/IP incluida en el módem se envían los datos a un servidor y puerto determinados, donde estos datos son recogidos para su visualización y posterior análisis. Figura 8 detalla el esquema de comunicación utilizando una red de datos GPRS.

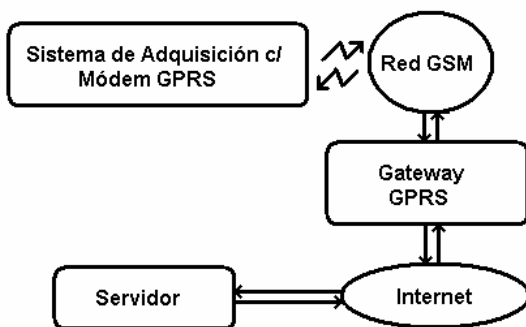


Fig. 8.- Esquema de comunicación en GPRS

VII. SOFTWARE EN PC

El software relacionado con el sistema de adquisición de datos es numeroso y brinda soporte para uso genérico del dispositivo como también para ciertas aplicaciones específicas y se organiza de la siguiente forma:

A) Software para programación del dispositivo:

Freescale Codewarrior, compilador y debugger distribuido por el fabricante del microcontrolador. Con este software se puede programar el microcontrolador en lenguaje de alto nivel C, grabarlo en su memoria flash mediante interfaz de programación y realizar depuración del firmware.

B) Software genérico de adquisición de datos:

En esta categoría se agrupan los programas desarrollados para alcanzar una comunicación eficiente con el sistema a través de sus distintas interfaces de comunicación, pero que no están orientados a alguna aplicación en particular.

Este software se encarga de controlar la comunicación por USB 2.0 en los dos modos utilizados, HID y CDC, tanto como el envío y recepción de datos por fibra óptica y a través de la red GSM/GPRS. El software incluye distintas opciones de visualización y procesamiento de los datos obtenidos desde el dispositivo y cuenta con la capacidad de generar archivos con los resultados de este procesamiento.

El software es capaz de crear archivos con extensión CSV donde se almacenan los datos registrados. Los archivos con este formato una vez recibidos en la PC pueden ser abiertos y procesados en varios programas comerciales, como Excel. La Figura 9 muestra la visualización de los datos contenidos en un archivo con extensión CSV creado en el sistema de adquisición de datos, guardado en su memoria SD, transferido a una PC mediante interfaz USB y abierto en el software Excel.

También se cuenta con la posibilidad de acceder al sistema de adquisición de datos desde una página web, mediante la cual se pueden visualizar los datos obtenidos por el dispositivo. Para esto se hace uso del esquema de comunicación descrito en la Fig. 8, con el sistema de adquisición de datos enviando información a través de la red GPRS hasta un servidor remoto donde se encuentra alojada la página web encargada de visualizar los datos.

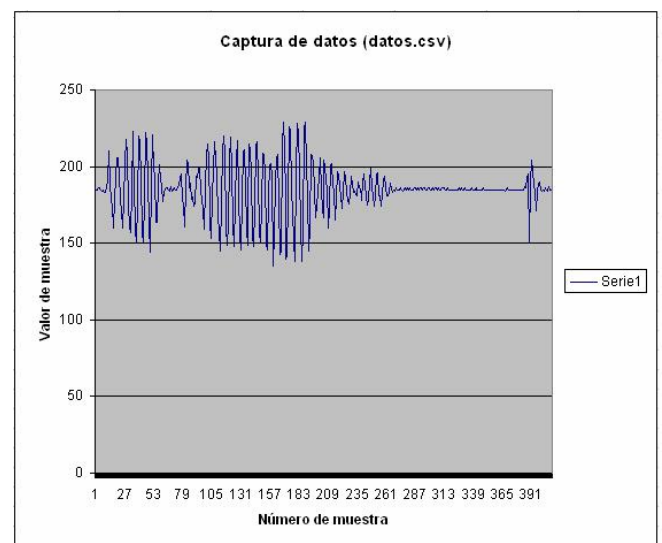


Fig. 9.- Visualización de datos contenidos en archivo CSV

C) *Software específico de adquisición de datos:*

El sistema de adquisición de datos ha sido utilizado para registrar microvibraciones eólicas en líneas de alta tensión. En este caso los datos son transferidos a una PC y analizados mediante un software desarrollado específicamente para esta tarea, que permite no sólo la visualización de los mismos, sino también toda una serie de procesamientos tendientes a caracterizar a las microvibraciones en forma estadística a fin de evaluar distintos sistemas de amortiguamiento presentes en la línea de alta tensión, como también predecir daños por fatiga en los conductores.

VIII. APLICACIÓN EN LÍNEAS ELÉCTRICAS

Como ya se mencionó, una aplicación para este sistema de adquisición de datos realizada en el Instituto ha sido su utilización para el monitoreo de microvibraciones eólicas en líneas de alta tensión [6].

Para llevar a cabo esta tarea se adosan al sistema de adquisición los siguientes sensores:

- LVDT (Transductor de Desplazamiento Lineal), para sensar desplazamientos verticales en el conductor de alta tensión debido a la acción eólica.
- Acelerómetro, para sensar la aceleración en el conductor de alta tensión.
- Anemómetro, para sensar la velocidad del viento perpendicular a la línea de alta tensión.
- Sensor de Temperatura, para medir la temperatura del conductor.

En esta aplicación, el sistema de adquisición ha sido alojado en un gabinete cilíndrico de aluminio para inmunizar el accionar de los circuitos electrónicos frente a posibles interferencias originadas por el conductor energizado.

IX. CONCLUSIONES Y DESARROLLO FUTURO

Se concluye que el dispositivo implementado como sistema de adquisición de datos cumple en forma satisfactoria con los requerimientos impuestos para obtener un dispositivo de bajo costo, robusto y versátil capaz de ser reconfigurado para adquirir grandes volúmenes de datos en diversos proyectos encarados en el Instituto.

Las aplicaciones posibles para este dispositivo son numerosas, entre las que podemos citar:

- Red de sismógrafos inalámbricos
- Estación meteorológica
- Accionamiento de equipos en forma remota
- Registro de vibraciones y fatiga de materiales en ensayos de estructuras
- Mapeo de cobertura de red GSM
- Datalogger portátil, con inclusión de display LCD

Se prevé en un futuro inmediato, la unión del sistema de adquisición de datos implementado con diversas técnicas de recolección de energía o energy harvesting para convertir al dispositivo en un sistema totalmente autónomo que obtenga la energía necesaria para su funcionamiento de fuentes tales como radiación solar, viento, vibraciones mecánicas, radiofrecuencia, inducción magnética en líneas de alta tensión, etc.

REFERENCIAS

- [1] Freescale, hoja de datos "MC9S08JM60", HCS08 Microcontrollers, 2009.
- [2] Freescale, nota de aplicación "AN3561-USB Bootloader", 2008.
- [3] A. Weiner, "Plastic Fiber Optics", Siemens, 2003.
- [4] Avago, hoja de datos "HFBR-0500Z Series", 2011.
- [5] U-blox, hoja de datos "Leon G100-G200", 2010.
- [6] G. E. Braga, R. Nakamura, T. A. Furtado, "Aeolian vibration of overhead transmission line cables: endurance limits", Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2004, IEEE/PES, pp. 487-492.