

Estación digital sismológica portátil sobre telefonía móvil celular e Internet

CARLOS A. VARGAS-JIMÉNEZ¹, JAIME LEÓN HINCAPIÉ², SERGIO RINCÓN BOTERO²

RESUMEN

Se propone la implementación de una estación de campo conformada por un sistema de acondicionamiento y adquisición de señales de baja frecuencia sobre un computador portátil. Esta estación se encarga de generar eventos en diferentes modos y los publica en la red de telefonía móvil celular e Internet mediante páginas activas; su configuración se realiza directamente en la estación o remotamente mediante sockets TCP-IP. El software de la estación permite la detección de eventos sísmicos empleando el algoritmo STA/LTA, así como la captura por pérdida de rango, captura periódica y captura continua de los canales. El sistema de acondicionamiento y adquisición de señales se diseñó como un sistema embebido y orientado por comandos con base de tiempo real y memoria de almacenamiento propios.

PALABRAS CLAVE: ESTACIÓN SISMOLÓGICA, CDPD, ADQUISICIÓN DE DATOS, TRANSMISIÓN DE DATOS

ABSTRACT

It was developed a portable station with a low frequency signal conditioning and acquisition system for seismic intentions. This station record events in different modes and publish them in the cellular mobile telephone network via active pages. Its setup is done directly in the station or remotely via sockets TCP-IP. The station software allows detection of seismic events using the STA/LTA algorithm, as well as threshold detection, periodic capture and continuous channels capture. The conditioning and acquisition system was designed as an embedded command driven system with its own real time clock and storage memory.

KEY WORDS: SEISMOLOGICAL STATION, CDPD, DATA ACQUISITION, DATA TRANSMISSION

INTRODUCCIÓN

Las estaciones de campo permiten la captura de señales provenientes de sensores para registrar sismos, niveles de agua en ríos, temperatura ambiente, precipitación y muchas otras variables, las cuales son transmitidas para su posterior análisis.

En general, la mayoría de las estaciones para propósitos de monitoreo sismológico están basadas en la telemetría convencional y las autónomas (Lee, 1989). En el primer caso, la exigencia de condiciones aceptables de transmisión no siempre es realizable (ausencia de línea de vista, costos elevados de retransmisión, etc.), mientras el segundo tipo, exige el desplazamiento periódico de personas para la obtención de la información.

En el presente trabajo se propone una estación portátil con conexión a la red de telefonía móvil celular. La estación adquiere señales sismológicas para su posterior proceso y análisis, incluido el almacenamiento, y generando eventos que pueden ser solicitados remotamente.

SISTEMA EMBEBIDO DE ADQUISICIÓN

La captura de eventos sísmicos se realiza por medio de un arreglo triaxial de geófonos, es decir, sensores que registran la velocidad del movimiento de la Tierra en sus tres componentes *E*, *N*, *Z* (Este, Norte, Z). Las señales sísmicas análogas, así como otras provenientes de

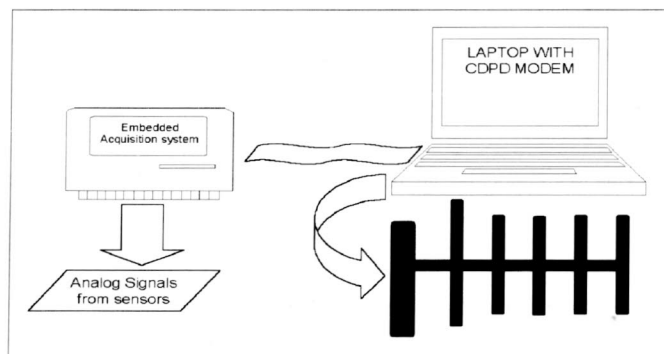


Figura 1. Estación portátil

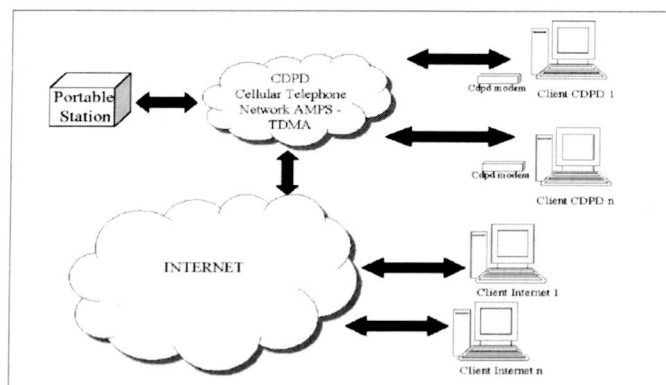


Figura 2. Conexión en red de la estación portátil

¹ Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Maestría en Geofísica, Bogotá.

e-mail: cvargas@ciencias.unal.edu.co

² Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales.

sensores de temperatura, inclinación, etc., son capturadas, acondicionadas y convertidas en señales digitales para su posterior proceso en el PC, en el cual se tiene el sistema de adquisición embebido (SAE), encargado de responder a las solicitudes recibidas mediante el puerto serial RS232.

El sistema SAE está compuesto de unidades de acondicionamiento y captura de señal, proceso central (microcontrolador), memoria de almacenamiento, base de tiempo, interfaz serial y visualizador.

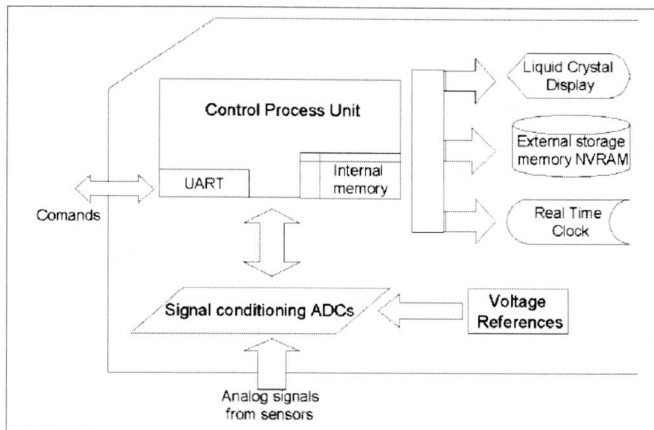


Figura 3. Diagrama funcional del sistema de adquisición embebido

UNIDAD DE CONTROL DE PROCESO

Para el control e integración de la adquisición, almacenamiento, visualización, base de tiempo y comunicación se requiere un controlador con mediana velocidad de procesamiento, bajo consumo de energía, puertos para la conexión de periféricos E/S, interrupciones externas, temporizadores y UART para la comunicación serial. Para el sistema se escogió el microcontrolador ATMEL AT89C55 debido a sus características: compatibilidad con el juego de instrucciones Intel 805X que permite el uso de compiladores para la programación en lenguaje C, memoria de programa tipo Flash de hasta 20K, bajo costo y fácil adquisición. Además, el bus de direcciones del microcontrolador permite asignar posiciones de memoria a diferentes dispositivos, de igual forma como se hace en un PC. El bloque de direcciones E/S (entrada/salida) de cada dispositivo se asigna de acuerdo con la cantidad de registros necesarios para su funcionamiento.

Una vez asignadas las direcciones para cada dispositivo, se debe generar la base para su activación. En el diseño la selección de dispositivo de acuerdo con el bloque de memoria de acceso actual se realiza mediante dispositivos lógicos programables (PLD).

Es necesario anotar que debido a que la arquitectura del microcontrolador maneja un bus compartido para el byte bajo del bus de datos y direcciones, se debe retener la parte baja del bus de direcciones una vez se genera acceso a los dispositivos mapeados en memoria.

ACONDICIONAMIENTO Y ADQUISICIÓN

Las señales de mayor frecuencia por adquirir provienen de los geófonos con componentes espectrales hasta los 30 Hz, para los cuales la frecuencia de muestreo seleccionada es $F_s=100$ Hz. La resolución digital escogida es de 16 bits, que garantiza la adquisición de señales sísmicas usualmente limitadas a un

rango dinámico de 60 dB (Lee, 1989) para eventos naturales, y hasta 154dB en sismología de banda ancha para eventos muy débiles con períodos de 1 a 300 s (Lemaire, 1997). La adquisición triaxial se debe realizar de forma paralela en los tres sensores, puesto que de esta manera no se introducen retardos entre las señales para cada eje. En este caso se empleó el convertidor sigma-delta acondicionador de señal (AD7714) que tiene un nivel de ruido muy bajo. El convertidor acondiciona la señal de entrada (preamplificación, filtración y digitalización). Las entradas del sistema de adquisición se implementaron como señales en configuración diferencial, para las cuales es posible seleccionar entre formato unipolar o bipolar, según el tipo de adquisición necesaria.

La función nominal de respuesta en frecuencia del filtro pasabajos en el convertidor AD (Kester 2001) está dada por:

$$|H(f)| = \left| \frac{1}{N} \times \frac{\text{Sen}(N \cdot \pi \cdot f / f_s)}{\text{Sen}(\pi \cdot f / f_s)} \right|^3$$

Las referencias de voltaje son necesarias para proveer a cada convertidor AD un nivel de potencial muy estable en temperatura y con muy bajo nivel de ruido, que en este caso corresponde al AD780AN, por su estabilidad buena de temperatura (3 ppm/°C), bajo nivel de ruido (100nV/ÖHz), bajo costo y una patilla de nivel de voltaje proporcional para sensar la temperatura de la tarjeta.

ALMACENAMIENTO Y RELOJ DE TIEMPO REAL

El almacenamiento de los datos debe ser del tipo volátil, con tiempo de acceso del orden de centenas de ns, con capacidad superior o igual a la cantidad disponible de direcciones del bus de datos de la unidad de control de proceso y bajo costo. Para el efecto se utilizó el integrado BQ4842 que posee memoria RAM estática no volátil con capacidad de almacenamiento de hasta 10 años en ausencia de alimentación, muy bajo consumo de energía, muy rápido tiempo de acceso, reloj en tiempo real, oscilador interno y registros de calibración de la hora para compensación de desajuste por temperatura.

COMUNICACIÓN SERIAL

La información capturada por el sistema debe ser transmitida a un PC, el cual porta el software encargado de realizar el almacenamiento en la base de datos y el procesamiento. La velocidad de comunicación entre la tarjeta SAE y el PC seleccionado es de 19200bps para cumplir con los requerimientos de procesamiento en tiempo real.

VISUALIZACIÓN

El sistema de adquisición requiere visualizar el estado actual del modo de trabajo y detalles de captura, especialmente cuando se trabaja en el modo autónomo (captura periódica de los canales). Para la implementación de la visualización en el sistema se escogió el módulo de cristal líquido de 16 caracteres x 4 líneas, el cual emplea el controlador Hitachi HD44780.

IMPLEMENTACIÓN

Se utilizó el CAD Protel para realizar el diseño de la tarjeta SAE, es decir, el diagrama esquemático y la tarjeta de circuito impreso. En la figura 4 se detalla la conexión de los dispositivos empleados en SAE. El sistema es alimentado por una batería recargable de 12 V, 38 Ah regulada a 5V por el circuito, la cual provee suficiente corriente para permitir la alimentación continuada por más de 500 horas.

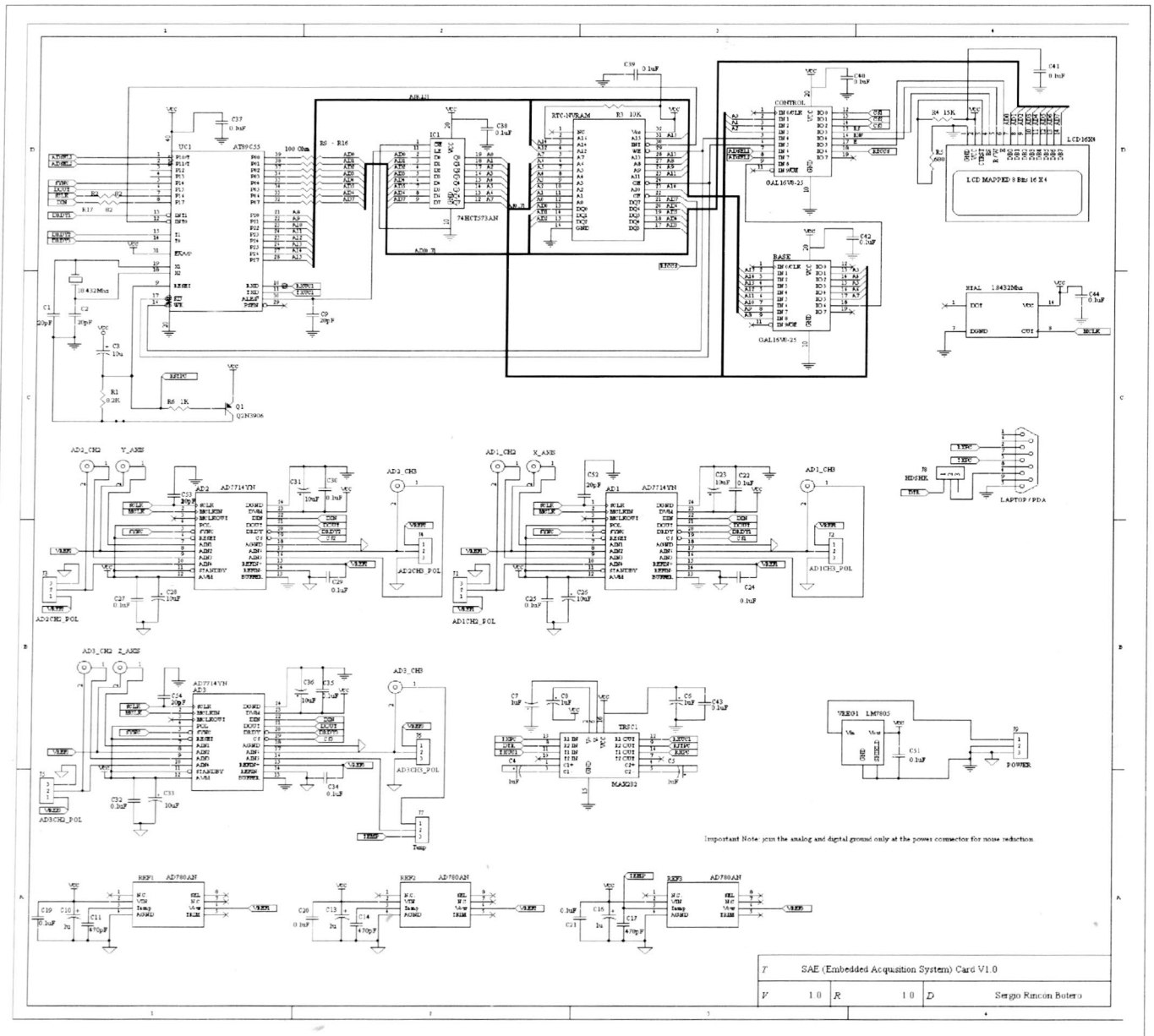


Figura 4. Diagrama esquemático de la tarjeta SAE

El nivel de ruido RMS de la tarjeta se obtuvo a partir de la captura en modo uno de 500 muestras para el canal uno en el convertidor AD tres, modo bipolar y ganancia uno. La entrada fue conectada a una resistencia igual a 390 Ohm, la cual es la impedancia (parte resistiva) vista en el geófono empleado cuando la masa se encuentra anclada. El paso mínimo en esta configuración es 76,29 μV , y el ruido obtenido es 41 μV como se ve en la figura 5, definiendo la resolución efectiva (Analog Devices, 1998) como la relación entre la máxima escala de entrada ($2 \times V_{\text{ref}} \times \text{Gain}$) y el ruido RMS de salida, se tiene:

$$Re_{s_{\text{eff}}} = \text{Log}_2 \left(\frac{2 \times 2.5 \times 1}{0,000041} \right) = 16,89 \text{ bits}$$

El rango dinámico se define como la relación de entrada máxima y entrada mínima cuantificable por el ADC. Para este caso se tiene un ruido de cuantificación menor al ruido RMS, por lo cual la entrada mínima cuantificable es 41 μV , y el rango dinámico es

$$DR = 20 \times \text{Log} \left(\frac{5V}{0.000041V} \right) = 101,72 \text{ dB}$$

El ruido del sistema se debe al ruido de cuantificación y al ruido del dispositivo, así como a la diferencia de potencial entre las tierras y el ruido inducido por la lógica digital en la línea de alimentación.

El diseño del circuito impreso es determinante en el resultado de la adquisición, y por tal motivo se diseñó el PCB con planos de tierra análoga y

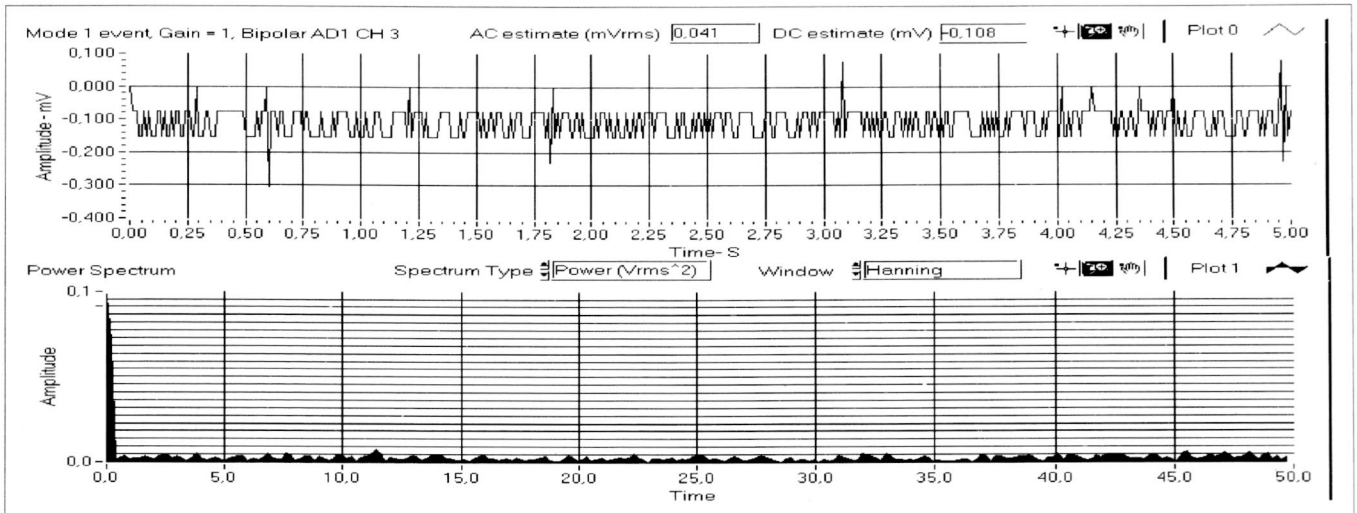


Figura 5. Ruido y espectro de potencia de la tarjeta con entrada 0V

digital independientes con más del 75% de su área dedicada a ellas y con bajo acoplamiento capacitivo, pistas de alimentación anchas, doble cara y vías en estaño plomo. Como el rango dinámico de los geófonos no será mayor a 60 dB (Lee, 1989) para eventos sísmicos naturales y el rango dinámico del sistema se encuentra en 101,72dB, no fue necesario realizar un diseño más complejo para los planos de tierra ni hacer acoplos ópticos entre la lógica digital en el microcontrolador y los convertidores.

El error de offset es de 108µV lo que equivale a un error cercano a 2 veces el valor LSB(76. µV). Es posible minimizar este error si se programaran los registros de calibración en los convertidores.

Para visualizar la respuesta del filtro hasta el primer notch (100Hz) se capturó una señal senoidal con frecuencia variable de 5 a 105 Hz en incrementos de 5 Hz manteniendo constante la amplitud. Y se muestra a continuación el valor en dB del voltaje RMS obtenido teniendo como referencia el potencial RMS a 5 Hz.

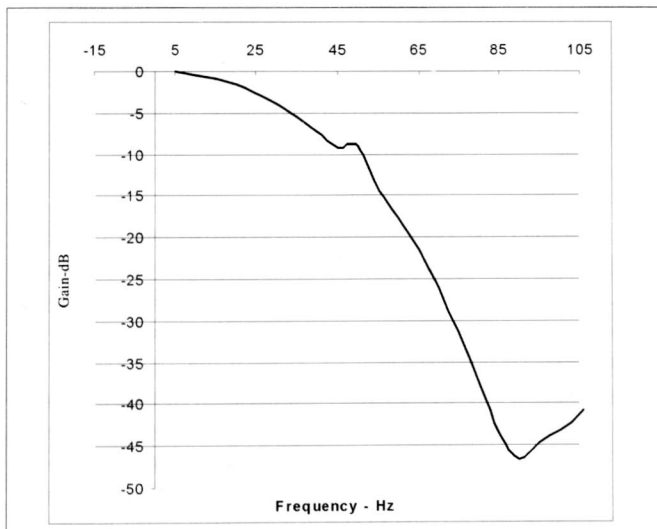


Figura 6. Respuesta en frecuencia del filtro en convertidores AD

Puesto que el reloj de tiempo real tiene una precisión de 20 segundos por día, es necesario calibrarlo periódicamente con una base de tiempo de mayor confiabilidad, siendo la más empleada a nivel mundial el UTC (Coordinated Universal Time) proporcionado por diferentes agencias tales como el NIST (National Institute of Standards and Technology), el Observatorio Naval y el International Bureau of Weights and Measures in Paris, entre otras. El UTC se puede obtener a través del sistema de posicionamiento global (GPS) o mediante Internet vía los protocolos Daytime (RFC-867), Time (RFC-868) y Network Time (RFC-1305). El sistema de adquisición recibe actualizaciones periódicas de tiempo cuando el usuario las realiza localmente o remotamente. Como se ve en la figura 1, SAE se conecta a un computador portátil, el cual posee conexión a Internet, permitiendo actualizar el reloj en el computador con el UTC mediante programas como el proporcionado por el NIST Internet Time Service (National Institute of Standards and Technology, 2001). Al actualizar el reloj de SAE con el reloj del computador se sincroniza el sistema de adquisición con la hora UTC. Este método permite una precisión en el sistema de hasta 1 s con respecto al UTC debido a los retardos de paquetes en la red, y al tiempo de ejecución de los comandos de ajuste de hora en la tarjeta SAE, pero debido a que en el sistema no se requiere la interacción de varias estaciones para la toma de decisiones, entonces este método es válido. En caso de ser necesaria la sincronización de múltiples estaciones portátiles, será preciso implementar la integración del GPS con SAE para aumentar la precisión de tiempo con orden de ms, para lo cual se dejaron libres en el diseño los pines P1.2 y P1.3 para realizar la conexión al GPS de forma serial usando un segundo UART.

PROGRAMACIÓN DEL SAE

El microcontrolador se encarga de integrar todos los dispositivos y, espera la solicitud de tareas por parte del computador, las cuales pueden ser de configuración, información o de modo. Por ejemplo, es posible ajustar o consultar la ganancia y el modo (unipolar, bipolar) para cada canal, así como la fecha y hora en el reloj de tiempo real, la temperatura de la tarjeta, y además se pueden solicitar los modos de trabajo de acuerdo con el tipo de adquisición (pérdida de rango, captura de geófonos, captura periódica de los canales,

captura continua de n muestras). También es posible ejecutar una prueba de integridad de la memoria y la batería en el reloj de tiempo real. En el desarrollo del software se empleó el C como lenguaje de programación para el microcontrolador, y el ABEL para los dispositivos lógicos programables.

La estructura del programa del microcontrolador está basada en apuntadores a funciones. Cada función representa en el sistema una tarea de configuración, información o modo de trabajo. En la interrupción serial se encuentra el administrador de tareas, que se encarga de separar los argumentos, validar la solicitud y ajustar el apuntador de funciones para ejecutar el comando. El corto tiempo de ejecución para realizar la interpretación de comandos comparado con el período de muestreo y la naturaleza de la aplicación permiten el uso de este modelo satisfactoriamente evitando la implementación de un núcleo (*kernel*) premitivo ni multitarea (Labrosse, 2000), pues sólo se ejecutará un modo de trabajo al mismo tiempo y se le asigna la misma prioridad a todas las tareas.

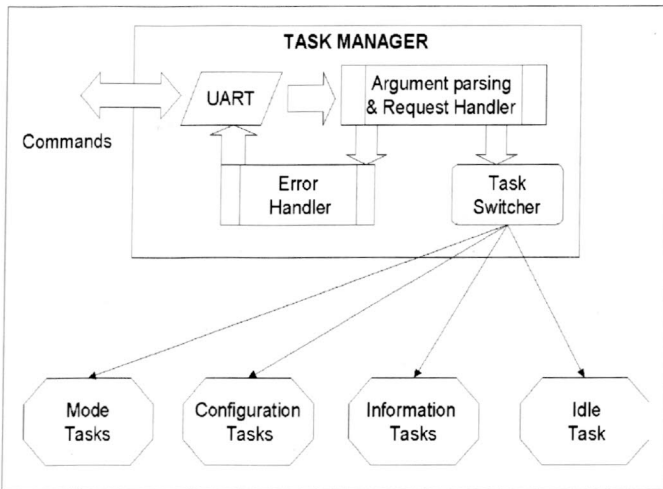


Figura 7. Administrador de Tareas en SEA

La cantidad de comandos implementada fue de 16, y una vez ingresados se procede a su interpretación y ejecución; si no se pudiera ejecutar la solicitud por errores en los argumentos o porque ya está ejecutándose otra tarea, entonces se reporta el error vía el puerto serial cuando la disponibilidad lo permita.

Los datos almacenados en la memoria externa permanecen aun en ausencia de alimentación; estos datos incluyen la información de configuración de ganancia y modo en los canales de entrada de los convertidores. Esta información es verificada al generar la reiniciación en el sistema, la cual se genera externamente mediante solicitud en la línea serial o al conectar la alimentación de la tarjeta. La sincronización se puede hacer desde el servidor (consola) o remotamente desde la aplicación del usuario (cliente).

SOFTWARE PARA EL PC

El PC se encarga de integrar el sistema de adquisición, la base de datos, la transmisión de eventos y la configuración remota. Con este objetivo, se desarrolló un programa servidor para el sistema operativo Windows que envía comandos al sistema de adquisición, interpreta las solicitudes del usuario y almacena los eventos en la base de datos.

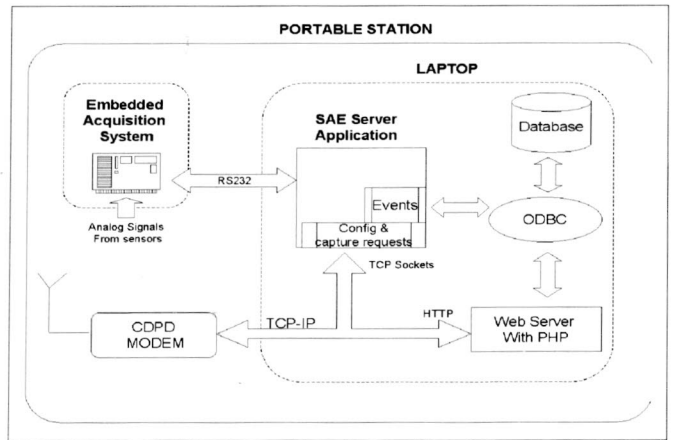


Figura 8. Software en el PC servidor

Este programa permite la edición de los usuarios que ejecutarán solicitudes remotas, así como los lugares donde se podrá ubicar la estación. Los eventos capturados se visualizan en esta aplicación o en la aplicación del cliente. La aplicación servidora se programó en Microsoft Visual Basic y el enlace a la base de datos se realizó en Microsoft Access haciendo uso del motor Jet.

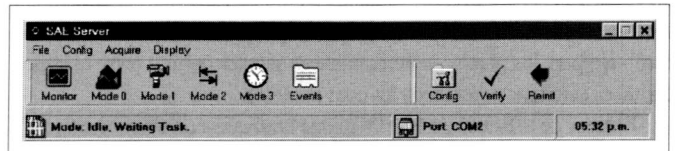


Figura 9. Programa SEA Server

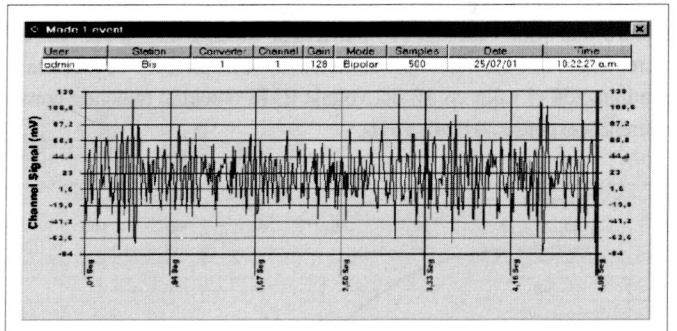


Figura 10. Captura en modo 1 de geófono de componente vertical Z con ganancia 8

La aplicación de servidor permite cuatro modos de captura. El modo 0, el cual está optimizado para la detección de sismos empleando el algoritmo STA-LTA (*short term average - long term average*) (Basseville y Benbeniste, 1986) para lo cual es necesario conectar dos geófonos horizontales y un geófono vertical en configuración ENZ.

El algoritmo STA-LTA es un filtro pasabajos que promedia dos ventanas (a largo plazo y a corto plazo) con los últimos datos capturados y calcula la relación entre los mismos; este promedio indica la relación de densidad de energía que será muy cercana a la unidad cuando no ha ocurrido una variación importante en la señal del sensor. Cuando se genera un evento, la ventana a corto plazo aumenta su densidad de energía y se hace comparativamente

más grande que la de la ventana a largo plazo. Los valores de tiempo de las ventanas indican la frecuencia de corte del filtro normalizado, el cual se puede definir como:

$$STA = STA + \frac{(abs(f_i - 32768) - STA)}{k_1}$$

$$LTA = LTA + \frac{(abs(f_i - 32768) - LTA)}{k_2}$$

donde f_i es la muestra leída actualmente, STA es el promedio aproximado de la ventana a corto plazo y LTA es el promedio aproximado de la ventana a largo plazo. El valor 32768 es el *offset* de la muestra capturada a 16 bits. k_1 y k_2 son el número de muestras de la ventana STA y LTA, respectivamente. Las ecuaciones anteriores pueden ser reescritas como:

$$y(n) = (1/k) * x(n) + ((k - 1) / k) * y(n - 1)$$

donde x representa la entrada, y el promedio calculado, y k es k_1 o k_2 . El índice n representa el instante de tiempo actual y $n-1$ es el instante de tiempo previo. El usuario puede configurar los valores de relación que activarán el inicio de evento (EnThrHld) al igual que la relación que indica la finalización del mismo (DisThrHld), siendo ésta inferior a la relación de activación. También se debe almacenar una ventana que contenga n muestras anteriores al evento (PEM) y otra con n muestras posteriores a la detección de finalización (PET). Aunque el tamaño de las ventanas LTA y STA depende del contenido espectral de la señal sísmica, estos valores oscilan generalmente entre 30-60 s y 0.5-3 s para la ventanas LTA y STA, respectivamente.

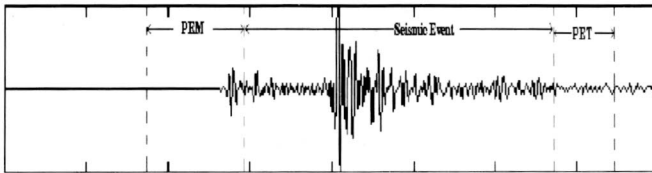


Figura 11. Preevento y postevento en señal sísmica

El procesamiento de la señal usando el algoritmo STA-LTA permite disminuir grandemente el espacio necesario en disco para el almacenamiento, pero no garantiza que se capturan todos los eventos ni que los capturados realmente son eventos sísmicos, pero es una buena aproximación.

El modo 1 se emplea para adquirir un determinado número de muestras de la señal en cualquier canal; el modo 2 genera un evento cuando se detecta la pérdida de un rango mínimo o máximo de valores previamente establecidos para un canal, y el modo 3 realiza una captura periódica de 6 canales cada n segundos de acuerdo con la ganancia y modo configurados previamente y no requiere de la conexión del computador portátil cuando no es necesario consultar el evento hasta que se termina el modo de captura.

Las páginas activas fueron programadas en PHP (*Personal Home Page*) y realizan la consulta y descarga remota de eventos de la base de datos; el enlace se realiza también mediante ODBC en PHP. Este modelo permite la búsqueda por fechas de captura en los eventos, modo de captura, usuario que realizó la solicitud de captura y localización de la estación. Las solicitudes de descarga e información de los eventos se reciben por medio de HTML en un *browser* y se procesan para generar una sentencia SQL, la cual se ejecuta en el servidor para ser retornados al usuario los resultados en

forma de tabla, en la cual se genera un hipervínculo por cada evento. Este hipervínculo genera una nueva página con información ampliada sobre el evento y permite la descarga del archivo con la captura en formato ascii para los encabezados y formato binario para las muestras leídas.

SOFTWARE PARA EL CLIENTE

El usuario puede verificar los eventos generados en la estación por medio de un *browser* para HTML. Para configurar la estación o iniciar modos de captura es necesario que el usuario posea la aplicación Cliente.

EventId	ModelId	Capture Time	Capture Date	UserId	StationId
41	3	14:53:00	2001-07-19	1	20
42	9	10:56:07	2001-07-20	1	20
43	3	10:58:43	2001-07-20	1	20
44	3	10:59:28	2001-07-20	1	20
45	1	19:55:14	2001-07-21	1	20
50	2	20:28:09	2001-07-21	1	20
51	3	10:59:28	2001-07-20	1	20
52	2	20:30:56	2001-07-21	1	20
53	2	21:37:39	2001-07-21	1	20
54	3	10:59:28	2001-07-20	1	20
55	3	22:28:05	2001-07-21	1	20
56	1	12:20:46	2001-07-24	1	24
58	3	13:55:06	2001-07-23	1	24
63	1	12:37:34	2001-07-23	1	28
65	3	12:39:37	2001-07-23	1	22
68	1	16:27:07	2001-07-24	1	22
70	1	09:40:01	2001-07-25	1	22

Figura 12. Visualización de eventos en Internet

La aplicación Cliente se programó en Microsoft Visual Basic y su estructura es igual a la aplicación servidora, con la diferencia de que los datos no son obtenidos desde la base de datos, sino desde los archivos descargados de las páginas activas usando el *browser*.

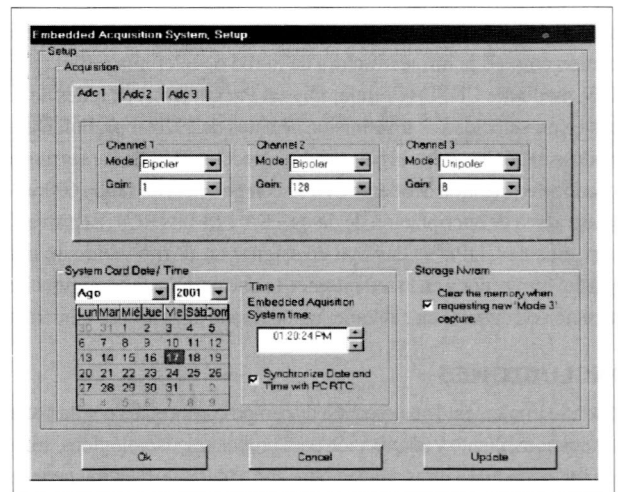


Figura 13. Configuración remota mediante el programa SEA Cliente

Para disminuir los costos del sistema se puede migrar la aplicación actual para el servidor empleando asistentes personales digitales PDA y H/PC (Handheld PC) con *slot* PCMCIA tipo II para conectar el MODEM CDPD. Éstos pueden ser programados en la versión de Microsoft Visual Basic para Windows Embedded.

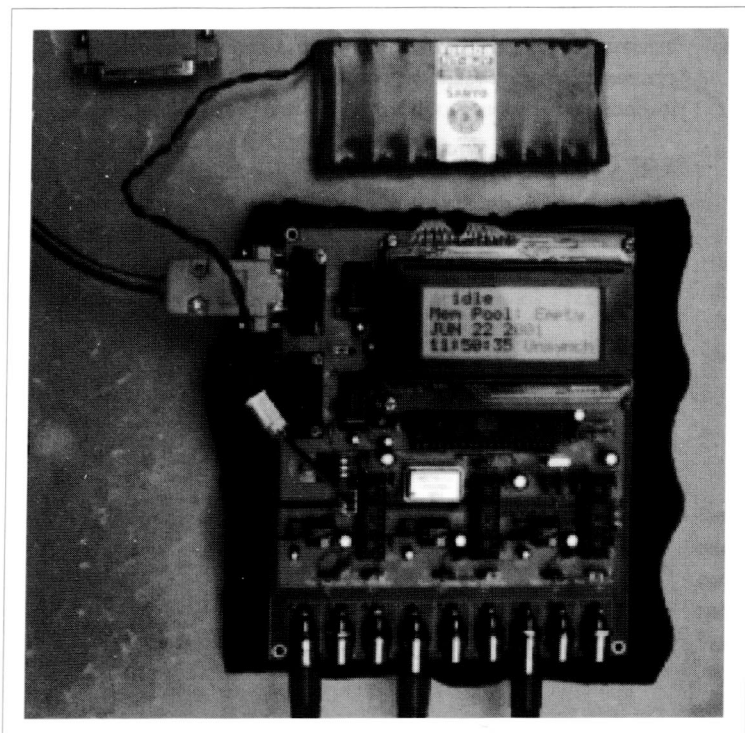


Figura 14. Prototipo final del SEA

TRANSMISIÓN DE DATOS

Para los sistemas de captura en tiempo real y transmisión posterior de los eventos que requieran baja capacidad de transmisión se puede hacer uso de las redes de telefonía móvil celular, las cuales hacen transparente al usuario el medio físico de naturaleza inalámbrica en las aplicaciones. La transmisión en campo empleó la infraestructura de la red de telefonía móvil celular AMPS, mediante CDPD (Cellular Digital Packet Data) en redes de área extensa, con velocidad de transmisión de datos de 19200 bps, Full Duplex en modo asincrónico, sobre el paquete de protocolos TCP/IP. Para el montaje realizado se emplearon Modems CDPD con potencia de salida 600mW, e interfase aérea de encriptación de datos RSA 128-bits RC4. El proveedor de servicios de CDPD se encarga de asignar un IP fijo válido en la red propia del proveedor y en la red Internet, lo que permite la configuración y adquisición de eventos en cualquier punto donde haya acceso a Internet.

CONCLUSIONES

Se diseñó e implementó una estación de campo conformada por un sistema de acondicionamiento y adquisición para propósitos sísmológicos, aunque puede ser extendida a otras aplicaciones con señales de baja frecuencia.

La estación diseñada posee un rango dinámico de 101dB, 9 canales (3 para el sistema triaxial de geófonos) y las restantes 6 pueden ser empleadas para aplicaciones con frecuencias de muestreo por debajo de las 100 muestras por segundo (temperatura, radiometría, inclinometría, batería, etc.).

Dicha estación genera eventos en diferentes modos y los publica en la red de telefonía móvil celular e Internet mediante páginas activas. El software de la estación permite la detección de eventos sísmicos mediante el algoritmo STA/LTA, así como la captura por pérdida de rango, captura periódica y captura continua de los canales.

El sistema de acondicionamiento y adquisición de señales se diseñó como un sistema embebido y orientado por comandos con reloj de tiempo real y memoria de almacenamiento propios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANALOG DEVICES, 3V/5V, CMOS, 500 uA. 1998: Signal Conditioning ADC, AD7714. Rev C. www.analog.com, Analog Devices, Inc.
- BASSEVILLE, M., BENBENISTE, A. 1986: Detection of abrupt changes in signals and dynamical systems. SV.
- JARMAN, David. 1995: A Brief Introduction to Sigma Delta Conversion, Intersil Application Note, www.intersil.com mayo de 1995.
- KESTER, Walt, BRYANT, James. 2001: Grounding in High Speed Systems, Hardware Design Techniques, application note. Analog Devices. www.analog.com
- KESTER, Walt, BRYANT, James, BUXTON, Joe. 2001: High Resolution Signal Conditioning ADCs, www.analog.com, Analog Devices, Section 3, analog devices application note, pp. 15-16.
- LABROSSE, Jean J. 2000: Embedded Systems Building Blocks, CMP Books, Second Edition. Kansas, USA.
- LEE, W. H. K. 1989: ToolBox for Seismic Data Acquisition, Processing, and Analysis, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior.
- LEMAIRE, Christophe. 1997: Low cost, iMEMS Accelerometers sense Strong Motion Seismic Activity for Hazard Mitigation Applications. Analog Devices, Inc. www.analog.com/publications/whitepapers/products/Seismart.html
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. NIST. 2001: Internet Time Service. www.bldrdoc.gov/timefreq/service/its.htm