

Data acquisition and processing system for local seismologic networks

Carlos Guada Barráez y José Silva Trujillo

Laboratorio de Geofísica, Departamento de Física, Facultad de Ciencias,
Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.

Telf.: 0274-2401338 y 0274-2442076. Fax.: 0274-2401286.

E-mail: carlosg@ciens.ula.ve / cheo@ciens.ula.ve <http://lgula.ciens.ula.ve/>

Abstract

An automatic seismic data acquisition and processing system has been designed and implemented in the Los Andes University Geophysical Laboratory. It has been tailored to meet the needs of the seismological observatories interested in gathering, structuring and publishing on the Internet the necessary data to carry out microseismicity studies. The system was designed to facilitate its operation and maintenance at a relatively low cost. This goal was achieved by exploiting the capabilities of the networks based on personal computers and on the family of the Microsoft Windows operating system. Real time data acquisition is performed using an A/D card and a driver, both of which were specially designed to detect seismic events. The time baseline of the seismic records is automatically synchronized with the time signal from a satellite clock, obtaining the millisecond accuracy necessary for precise timing of the seismic signals. The seismic detection algorithm work through both, the time and frequency domain, using neural networks for the recognizance of seismic wave patterns. Triggering of several seismic stations is used as an additional discrimination criterion. Off-line seismic data processing can be performed on any PC connected to the local network or TCP/IP. The processing includes seismogram visualization, arrival times and polarities picking, hypocenter locations, plotting epicenter maps and access to seismic libraries. Moreover, capabilities for dynamic publication in web sites is provided via an interactive catalog, which also allows seismologists to locate through the WWW the information needed for their research. The software is interactive and integrated and, following a set of rules, it can be extended with new functions. All information, either from individual events or from groups of events, including their seismograms, can be displayed using an information base, which can be managed through the Internet. Most of the versatility of this information base is due to its capability to store and relate instrumental data from seismic events with digital documents, allowing several ways of searching and collection information. This work allowed the automation of the Venezuelan Andes Seismic Network operated by the Los Andes University Geophysical Laboratory (<http://lgula.ciens.ula.ve>) at the beginning of the nineties. Its algorithm for event discrimination, and capabilities for integrated management of the information and low cost operational maintenance, have been tested in seismic networks in southern Venezuela for almost a decade, being accumulated the biggest seismological information base available about South West of Venezuela.

Key words: Seismology, instrumentation, seismological network, information base.

Sistema de adquisición y procesamiento de datos para redes sismológicas locales

Resumen

Se desarrolló en el Laboratorio de Geofísica de la Universidad de Los Andes un sistema automático de adquisición y procesamiento de datos adaptado a las necesidades de los observatorios sismológicos interesados en recoger, estructurar y publicar en Internet la data necesaria para la realización de estudios

locales de microsismicidad. El sistema fue diseñado para facilitar su operación y mantenimiento a un costo comparativamente bajo y para ello explota las capacidades de las redes de computadores personales y trabaja bajo los sistemas operativos de la familia Windows. La adquisición de datos sísmicos en tiempo real se ejecuta usando una tarjeta analógico digital y un programa de detección, ambos especialmente diseñados. La base de tiempo de las señales sísmicas se sincroniza con un reloj de satélite, obteniendo la precisión de milisegundos necesaria en el procesamiento de datos sísmicos. El algoritmo de detección trabaja en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia y usa redes neuronales para el reconocimiento de patrones sísmicos. El disparo de varias estaciones se usa también en el filtrado de señales. El procesamiento fuera de línea puede ejecutarse desde cualquier PC conectado a la red local o TCP/IP e incluye la visualización de sismogramas, lectura de tiempos de llegada y polaridades, localización de hipocentros, mapas epicentrales, el acceso a bibliotecas de información sísmológica y la publicación dinámica en sitios Web a través de un catálogo interactivo que permite a los sísmólogos ubicar la información que requieren para sus estudios específicos a través de la World Wide Web. El software es interactivo e integrado y siguiendo un conjunto de reglas puede extenderse con nuevas funciones. Toda la información, tanto de eventos individuales como de grupos de eventos, incluyendo sus sismogramas puede visualizarse mediante una base de información que se administra y consulta a través de Internet. Gran parte de la versatilidad de esta base de información radica en que puede almacenar y relacionar los datos instrumentales de eventos sísmicos con documentos digitales de distinta naturaleza, permitiendo múltiples maneras de buscar y recuperar información. El trabajo permitió la automatización la Red Sísmológica de Los Andes Venezolanos (<http://lgula.ciens.ula.ve>) a comienzos de los noventa. Sus algoritmos de discriminación de eventos, y sus capacidades de manejo integrado de información y de mantenimiento operativo a bajo costo, han sido probados durante un periodo cercano a una década en redes sísmológicas en el sur de Venezuela, acumulándose la mayor cantidad de información sísmológica disponible actualmente para el sur occidente de Venezuela.

Palabras clave: Sísmología, instrumentación, redes sísmológicas locales, base de información.

Introducción

El Laboratorio de Geofísica de la Universidad de los Andes (LGULA) se planteó en 1991 el desarrollo de un sistema de adquisición y procesamiento de datos sísmicos para mejorar la eficiencia y automatizar las operaciones cotidianas de la Red Sísmológica de los Andes Venezolanos (REDSAV). Esta red proporciona la infraestructura para la caracterización sísmológica regional y está integrada por diez estaciones telemétricas de corto período ubicadas en el Occidente Venezolano (Mérida, Trujillo, Barinas y Zulia) las cuales registran la microsismicidad local y la comunican a una estación central ubicada en la ciudad de Mérida (Figura 1).

En la decisión de la infraestructura sobre la cual un observatorio sísmológico debe basar la automatización de su red se deben tomar en cuenta diversos elementos. En el caso del LGULA los siguientes cuatro criterios de desarrollo fueron los de mayor significación en el proyecto:

1. El reducir los costos de implantación y mantenimiento, para facilitar su uso e ins-

talación en observatorios sísmológicos de bajos recursos.

2. El desarrollar una detección de calidad con una tasa de muestreo precisa y una discriminación de eventos adecuada sin pérdida de información de interés.
3. El facilitar el uso para las operaciones cotidianas de un observatorio sísmológico.
4. El proporcionar una plataforma coherente para el almacenamiento, la publicación automática y la recuperación de información a través de Internet.

Para la fecha de inicio del proyecto, al menos cuatro sistemas previos fueron analizados como posibles bases para la automatización del LGULA:

- El sistema Ward-Cuttler [1] basado en un SUN Workstation trabajando con el sistema operativo Unix, desarrollado en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) con la construcción de un hardware especializado de detección y software estándar en este tipo de workstations. El ambiente y

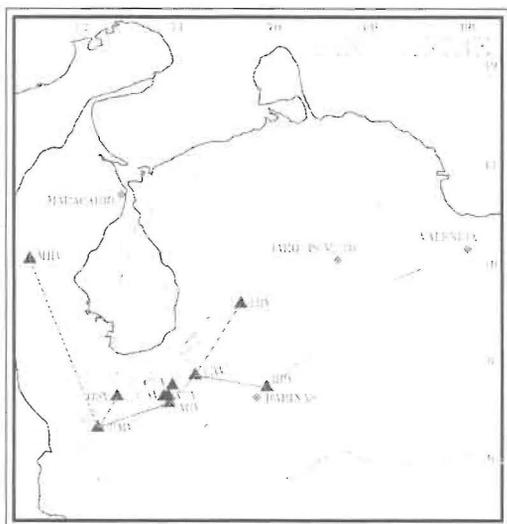


Figura 1. Red Sísmológica de los Andes Venezolanos. Las líneas continuas indican los enlaces de comunicación entre las estaciones sísmológicas.

poder de procesamiento de este tipo de estaciones proporciona ventajas para el uso y el desarrollo de sistemas de manejo de información sísmológica, pero los costos de adquisición y mantenimiento no hacen este tipo de sistemas adecuado a las necesidades de observatorios sísmológicos como el del LGULA.

- El sistema desarrollado por W. Lee y otros, denominado PC-Quake [2, 3], sobre una plataforma de PC, AT/MS-DOS, sin la construcción de *hardware* especializado. Este sistema abarató significativamente los costos de la adquisición y procesamiento de información sísmica y por esta razón fue adoptado por un creciente número de observatorios sísmológicos, particularmente, varios países latinoamericanos lo acoplaron a sus redes sísmológicas. Las limitaciones de este sistema estaban en las restricciones que el uso de hardware estándar imponía en el manejo de la base de tiempo y en las limitaciones de integración e interactividad en el diseño del software.
- Beckles, Shepherd y Aspinall [4] desarrollaron a comienzo de la década del noventa, en St. Augustine, Trinidad-Tobago, un sis-

tema denominado "The Equifriere System" utilizando también una plataforma AT/MS-DOS. El algoritmo de detección de eventos sísmicos se basó en el cambio de energía de la señal en el dominio de la frecuencia y constituía un aporte interesante, sin embargo el software tenía limitaciones similares a las del PC-Quake en cuanto a la interactividad.

- Havskov y Utheim [5] desarrollaron el sistema de adquisición de datos sísmicos "SEISLOG", en el "Institute of Solid Earth Physics" de la Universidad de Bergen, Noruega, utilizando en la plataforma PC el sistema operativo QNX y para el procesamiento de las señales sísmicas el programa denominado "SEISAN" que opera en computadores SUN Workstations bajo el sistema operativo Solaris. El software del sistema introdujo mayores funciones de software pero las mismas seguían siendo insuficientes en relación a algunas funciones cotidianas de los observatorios sísmológicos, tales como la publicación automática en línea del catálogo sísmológico.

Para la automatización de la REDSAV se escogió la plataforma PC/Windows tanto para la detección de eventos en tiempo real como para el procesamiento fuera de línea, se desarrolló un hardware y un software especializado de detección, un sistema integrado, flexible y eficiente para el manejo de sismogramas y una base de información que permitiera el almacenamiento de objetos de información de naturaleza y formato variados, tales como sismogramas, estudios de sismicidad, documentos divulgativos, boletines sísmológicos, referencias bibliográficas o de recursos de Internet, fotografías, etc, así como la publicación automática del catálogo a través de la World Wide Web (WWW).

En la Tabla 1 se esquematizan similitudes y diferencias de los sistemas de adquisición y procesamiento de datos sísmicos.

El sistema de adquisición y procesamiento de datos sísmicos del LGULA

El sistema de adquisición y procesamiento de datos sísmicos desarrollado en el presente tra-

Tabla 1
Diferencias y similitudes de los sistemas de adquisición y procesamiento de datos sísmicos

Sistema	Plataforma	Hardware	Software
Ward, Cuttler	Sun Workstation/UNIX	Especializado Incluye reloj satélite	Estándar. Detección en el dominio del tiempo.
W. Lee y otros	AT/DOS	Estándar	Especializado. Detección en el dominio del tiempo.
Beckles, Sherpherd y Aspinall	AT/DOS	Estándar	Especializado. Detección en el dominio de la frecuencia.
Utheim y Havskov	PC/QNX Sun Workstation/UNIX	Estándar	Estándar. Detección en el dominio del tiempo.
LGULA	PC/Windows	Especializado Incluye reloj satélite	Especializado. Detección en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia. Ambiente integrado interactivo. Bases de información integral. Catálogo sísmológico en línea a través de Internet.

bajo realiza, en un ambiente integrado, las siguientes funciones:

- Adquisición de datos en tiempo real.
- Detección de eventos.
- Visualización de sismogramas.
- Lecturas de parámetros sísmicos.
- Localización hipocentral.
- Cartografía de epicentros.
- Manejos de sismotecas.
- Emisión de boletines sísmológicos.
- Publicación dinámica en la WWW.

El diseño del sistema de adquisición y procesamiento de datos sísmicos del LGULA aparece esquematizado en la Figura 2. Las entradas al sistema lo constituyen los canales de entrada de la información sísmica procedente de las estaciones telemétricas y la señal de satélite que permite la sincronización de la base de tiempo de todo el sistema. Un PC se dedica completamente a la adquisición de datos y discriminación de eventos en

tiempo real usando un hardware y un software especializado. Este computador se conecta a una red local que permite al servidor del sistema registrar automáticamente la información procedente del discriminador de eventos, así como prestar los servicios de datos requeridos por el procesamiento fuera de línea (lectura de sismogramas, localización de hipocentros, etc.). Un segundo servidor mantiene una base de información, comunicándose diariamente con el servidor del sistema mediante la familia de protocolos TCP/IP. Este segundo servidor permite a los sísmólogos recuperar la información sísmológica a través de Internet, generando en forma automática páginas Web dinámicas como respuesta a las consultas que los usuarios realizan a través de la WWW.

Características del hardware de adquisición

La tarjeta de adquisición de datos fue diseñada especialmente para sísmología y sincroniza

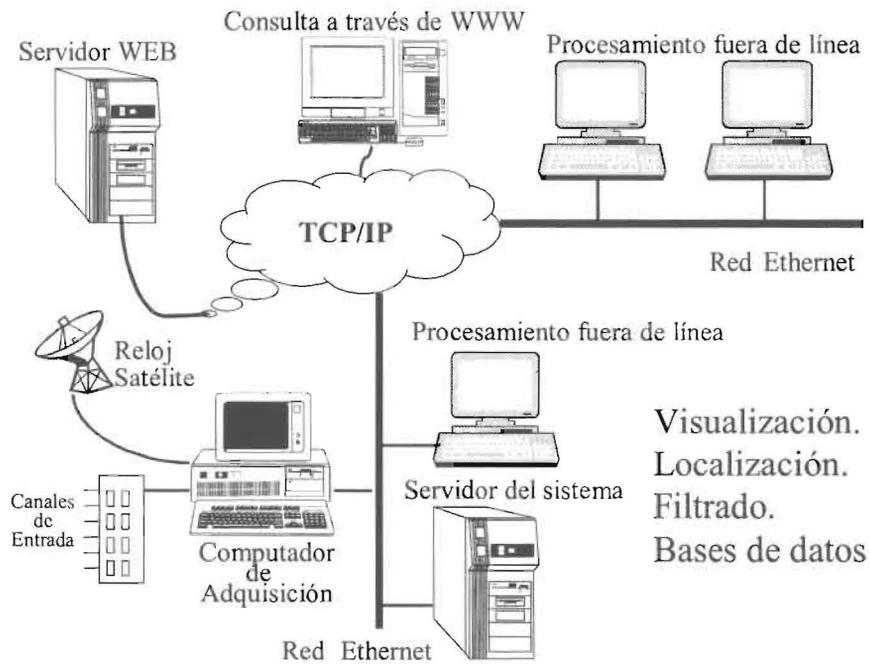


Figura 2. Diagrama de bloque del sistema de adquisición y procesamiento de datos sísmicos del LGULA.

la información sísmológica con los datos provenientes de un reloj satelital. El uso de componentes estándares la hacen fácilmente reproducible, para una mayor garantía de funcionamiento ininterrumpido del sistema. La tarjeta tiene 16 canales de entrada analógicos, un amplificador analógico de ganancia programable, un convertidor A/D de 12 bits e interfaz para bus ISA.

Conectando una estación sísmológica a dos canales de entrada con ganancias diferentes en el amplificador analógico se obtiene un mayor rango dinámico en el sistema [6, 7]. Con esta conexión el sistema puede funcionar simultáneamente para la detección de sismos de gran magnitud y la ubicación de los microsismos usados para la caracterización tectónica de la región donde se encuentre ubicada la Red Sísmológica. Por ejemplo, la Figura 3 muestra un sismograma recuperado a través de Internet donde se observa un evento registrado a las 02:55 del día 28 de Diciembre del 2001, con magnitud 4.1. Puede apreciarse en el registro que la estación de la Universidad de Los Andes aparece dos veces. Una primera, UAV, donde el evento se registra claramente porque el canal está calibrado con una amplificación adecuada para microsismos y una segun-

da, UAR, donde el evento apenas se visualiza porque la estación está conectada a un canal con una amplificación 18 db por debajo de la anterior, calibrado así para responder a sismos de mayor magnitud.

Características del software de adquisición

El sistema de adquisición de datos sísmicos fue desarrollado para operar con sistemas operativos Windows de 16 y 32 bits. La detección automática de eventos se realiza con una combinación de tres algoritmos: en el dominio del tiempo, utilizando el método STA/LTA [8], en el dominio de la frecuencia utilizando redes neuronales para el reconocimiento de patrones sísmicos [9] y finalmente un criterio de red, según la proximidad entre las estaciones.

Combinando los dos primeros algoritmos se obtiene una disminución considerable de almacenamiento de eventos falsos, detección de microsismos y se mantiene la posibilidad de realizar una localización preliminar automática del epicentro del sismo. El procesamiento de un canal se comienza por el algoritmo de detección en

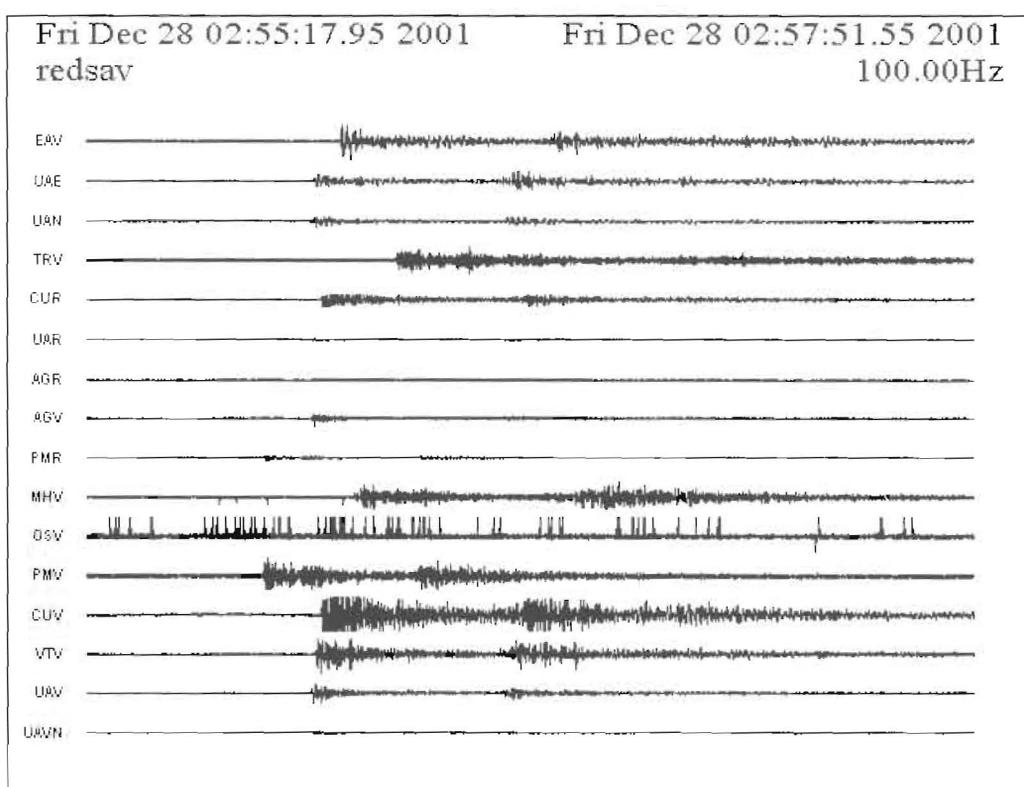


Figura 3. Registro de un microsismo ocurrido el 28 de Diciembre del 2001.

el dominio del tiempo, con el nivel de umbral muy bajo para detectar microsismos. Si este algoritmo detecta algún movimiento, se procede a procesar el mismo bloque de información con el algoritmo de detección en el dominio de la frecuencia, con la finalidad de determinar si lo detectado es un patrón sísmico.

Si se pasa el segundo criterio se espera en un lapso de tiempo predeterminado que dos o más canales indiquen que detectaron un sismo antes de que el programa proceda a grabar la información sísmica.

Una memoria circular permite mantener toda la información cruda durante un periodo de tiempo configurable, asegurando que no se pierda información incluso si ocurriera una falla en los algoritmos de detección. El sistema se puede reconfigurar en línea, estando en funcionamiento, sin necesidad de detenerlo.

El funcionamiento del algoritmo de detección durante una década, ha sido completamente satisfactorio, siendo su principal restricción la ausencia de un mecanismo para determinar automáticamente el tiempo de llegada de las ondas

S, lo cual sería la clave para enriquecer el sistema con una localización confiable y completamente automática de hipocentros.

Características del módulo de procesamiento fuera de línea

El módulo de procesamiento fuera de línea, llamado OSULA (Observatorio Sismológico de la ULA), es un entorno de trabajo que integra todas las funciones rutinarias de un observatorio sismológico, en un ambiente diseñado para un trabajo interactivo donde el paso de una función a otra es sencillo y permite al usuario visualizar señales, lecturas, detalles de un evento o listados de grupos de eventos.

Los datos de entrada son fácilmente editables, se permite la lectura de sismogramas grabados en varios formatos (IASPEI, ASCII, SEISAN). El usuario puede incorporar programas de localización desarrollados para necesidades específicas o en condiciones de investigación. Los modelos de corteza y las coordenadas de las estaciones sismológicas pueden ser editadas sin necesidad de salir de la aplicación.

El sistema puede ser adaptado fácilmente a otros centros sismológicos, especialmente latino-americanos, que manejen redes sismológicas locales. Las interfases son coherentes y fueron diseñadas con la participación de sismólogos y especialistas en computación. La memoria inter-sesiones permite a los distintos programas del OSULA establecer, al inicio de cada nueva sesión de trabajo, las opciones establecidas en la sesión anterior o fijadas por programas externos. Se usa para ello un lenguaje de configuración de aplicaciones diseñados en el LGULA para facilitar la posibilidad de extender el sistema con nuevos programas y funciones.

El catálogo sismológico reside en una base de información que incluye todos los datos usados para caracterizar el evento sísmico, así como documentos digitales de cualquier naturaleza. Estos últimos pueden ser relacionados a través de descriptores o palabras claves con los eventos. La información contenida en el catálogo sismológico puede ser extraída y analizada usando filtros

espaciales, temporales o por las estaciones que detectaron el evento. Usando el catálogo sismológico el usuario también puede trabajar de forma interactiva con los otros programas que conforman el OSULA y reprocesar completamente el evento sísmico.

El catálogo sismológico, puede ser consultado a través de Internet (<http://lgula.ciens.ula.ve>), filtrando datos por fechas, latitud, longitud, magnitud o redes. Las páginas Web de salida las elabora automáticamente el sistema cada vez que un usuario realiza una consulta. Los sismogramas también pueden visualizarse a través de Internet. Las imágenes comprimidas en formato JPG se elaboran dinámicamente a partir de los datos almacenados en la base de información, permitiéndole al usuario modificar los parámetros de la misma. Una misma base de información puede mantener eventos sísmicos, referencias de documentos y cualquier tipo de documentos sismológicos a texto completo. La Figura 4 presenta una forma de consulta al catálogo sismológico

Año	Nro. de eventos registrados
2002	0
2001	320
2000	298
1999	215
1998	203
1997	264
1996	318
1995	293
1994	433
1993	188
1992	391
1991	579
1990	360

Figura 4. Forma de consulta al catálogo sismológico a través de Internet (<http://lgula.ciens.ula.ve>).

Tabla 2
Eventos registrados en el sistema
para cada uno de los años de operación

Año	Nº de eventos registrados
2002	8
2001	320
2000	299
1999	215
1998	203
1997	264
1996	318
1995	293
1994	433
1993	188
1992	391
1991	579
1990	360

gico a través de Internet. Las salidas a este tipo de consultas es la lista de eventos que cumplen con las restricciones indicadas. Desde estas listas, el sismólogo puede solicitar imágenes de sismogramas como la que aparece en la Figura 3.

Una interfaz de programación permite a cualquier programa externo ingresar documentos adicionales a la base de información.

La Tabla 2 presenta los eventos registrados en el sistema para cada uno de los años de operación del mismo. La información registrada es importante para la caracterización tectónica de la región y constituye la mayor información sísmológica disponible actualmente para el Sur Occidente de Venezuela. El número de mecanismos focales calculados en esta región ha aumentado de manera significativa gracias a la mayor disponibilidad de información que el sistema ha facilitado [10]. Con la base de información desarrollada han podido realizarse nuevos estudios de Sismicidad Regional [11]. Adicionalmente el sistema ha encontrado aplicaciones en redes puntuales instaladas para realizar estudios de sitio [12].

Conclusiones

Además de las ventajas inherentes de todo sistema sísmológico digital de adquisición y procesamiento de datos para redes sísmológicas locales, el presente tiene las siguientes ventajas:

- Bajo costo de implantación y mantenimiento, por estar operado con PC económicos y hardware fácilmente reproducible.
- Detección confiable, por usar tres algoritmos de detección y una base de tiempo satelital.
- Seguro, configurable en línea, madurado a través de una década.
- Rápido por su interfaz integrada interactiva de procesamiento para todas las funciones básicas de un observatorio sísmológico.
- Flexible por su extensibilidad para incorporar modelos de corteza y algoritmos de localización hipocentral así como nuevos programas y funciones.
- Manejo de sismotecas en una bases de información de múltiples tipos de objetos digitales.
- Catálogo sísmológico en línea a través de Internet.

El uso del sistema durante una década ha permitido reunir la mayor base de información sobre la sísmología del Sur Occidente Venezolano.

Agradecimientos

Este trabajo ha tenido respaldos financieros del CONICIT (024.20.02-16), el CDCHT (C-462-90 y C_519-91) de la ULA, el Decanato de la Facultad de Ciencias e ingresos propios del Laboratorio de Geofísica de la ULA.

Los autores agradecen adicionalmente a todos los miembros del Laboratorio de Geofísica de la Universidad de Los Andes su apoyo en el desarrollo del sistema durante más de una década de trabajo.

Referencias Bibliográficas

1. Ward, P.L. and R. Cutler: An inexpensive, buffered analog-to-digital converter for use on the SCSI bus with the UNIX operating sys-

- tem, U. S. Geol. Surv. Open-File Report 87-624, (1987) 81 pp.
2. Lee, W., D. Tottingham and J. Ellis: A PC-based seismic data acquisition and processing system, U. S. Geol. Surv. Open-File Report 88-751, (1988) 31 pp.
 3. Lee, W. H. K. (Editor): Toolbox for Seismic Data Acquisition, Processing and Analysis, IASPEI Software Library, Volume 1, Seismological Society of America, El Cerrito, California, USA. (1989).
 4. Beckles, D. J. Shepherd, W. Aspinall and L. Lynch: The Equifriere System: A family of programmes for collection and procesing of seismograph data. Aspinall and Associates. 5 Harrys Count, Cypress Way, Sunbury-on-Thames, England. (1990).
 5. Havskov, J. and T. Utheim: SEISLOG and SEISAN: A complete system for seismic data acquisition and analysis. Cahier du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, 5, (1992) 67-74.
 6. Sheingold, D.H.: Analog-Digital conversion handbook, Prentice-Hall, USA, (1986).
 7. Tompkins, W.J. and J.G. Webster: Interfacing sensors to the IBM PC, Prentice Hall, USA, (1986).
 8. Lee, W. and S. Stewart: Principles and applications of microearthquake networks, Advances in Geophysics, Supplement 2, Academic Press, New York, (1981).
 9. Guada, C: Detector de eventos sísmicos en tiempo real utilizando redes neuronales. Interciencia. Vol. 25. No 6 (2000) 293-298.
 10. C. Palme, J. Choy y M. Morandi,: Mecanismos focales sísmicos y esfuerzos tectónicos en la Región Norte de Los Andes Merideños, Venezuela. Interciencia. Vol. 26. No 5 (2001) 0378-1844.
 11. F. Bonive y M. Rengifo: Sismicidad en la Región Andina Venezolana (Período 92-93). IX Congreso Venezolano de Geofísica, Caracas, 1998.
 12. C. Palme, J. Choy y C. Guada: Determinación de efectos de sitio utilizando el Método de Nakamura: Aplicación al núcleo universitario Rafael Rangel, Estado Trujillo, Venezuela. Boletín Técnico Instituto de Materiales y Modelos Estructurales. UCV. Año 36. No 1 (1998) 43-58.

Recibido el 26 de Marzo de 2001

En forma revisada el 30 de Abril de 2002