

MODERNIZACIÓN DE LA RED SÍSMICA CUBANA. INSTALACIÓN, CALIBRACIÓN Y PUESTA A PUNTO

EDUARDO R. DIEZ ZALDÍVAR¹, MANUEL CUTIÉ MUSTELIER¹, CÁNDIDO MONTENEGRO MORACÉN¹, RAÚL PALAU CLÁRES¹, VIANA POVEDA BROSSARD¹, ZHOU YINXING², CHEN YANG², WANG FENGXIA²

¹Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (CENAIIS). Calle 17 Nro. 61 e/ 4 y 6, Vista Alegre, Santiago de Cuba, Cuba email :diez@cenais.cu

²Geodevice Co., Ltd, No.20, Jinxing Road, Daxing District, Beijing, China.
email: zhou961236@sina.com

Recibido: noviembre 2012

Recibido en forma final revisado: octubre 2013

RESUMEN

Se presenta la estructura de la nueva red de registro sísmológico cubana, haciendo énfasis en su actualización tecnológica y detallando los elementos que conforman las redes de banda ancha, corto periodo y acelerométricas. Se especifican las características técnicas de los instrumentos utilizados, calibración de los canales sísmográficos, instalación, interconexión y puesta a punto de las redes de registro. Finalmente se muestran ejemplos de terremotos registrados por la red sísmica cubana.

Palabras clave: Red sísmica, Terremotos, Sismómetros, Acelerómetros, Calibración.

CUBAN SEISMIC NETWORK UPGRADE: INSTALLATION, CALIBRATION AND TUNING

ABSTRACT

The main structure of the new Cuban seismic network is presented, emphasizing on the technological update and detailing the elements which are part of the broadband, short period and strong motion networks. Technical specifications of the instruments, seismometers calibration, installation, networking and tuning are specified. Finally, some examples of earthquakes recorded by this network are presented.

Keywords: Seismic network, Earthquake, Seismometer, Accelerometer, Calibration.

INTRODUCCIÓN

La instrumentación sísmica en Cuba tiene una larga historia de cambios tecnológicos con el fin de aumentar el rango dinámico y el espectro en frecuencia requeridos para el registro de la señal sísmica.

No obstante los esfuerzos de destacadas personalidades en la etapa anterior a 1959 a favor del desarrollo de investigaciones sísmológicas y de la instalación de equipamiento afin, sólo es destacable la entrada en operación de la estación patrocinada por los Jesuitas, que operó en el Colegio de Belén con dos sismómetros horizontales Bosch-Omori, desde el 3 de febrero de 1907 hasta alrededor de 1920.

Desde la instalación de las primeras estaciones sísmológicas en Soroa y Río Carpintero en 1964 y 1965, respectivamente,

y hasta el año 1998, el equipamiento instalado consistió en diferentes canales sísmográficos analógicos, en los cuales los métodos de registro evolucionaron desde los galvanómetros de espejo que realizaban el registro en papel fotográfico hasta los registradores visuales de papel y tinta. En Serrano & Escalona (1979), se detallan las particularidades de estos sistemas, los sensores empleados, respuestas en frecuencia y rangos dinámicos de los canales formados, entre otros. Como regla general y dado el desarrollo tecnológico de la época, consistían en estaciones de registro de corto período con sismómetros de 1 segundo de período de oscilaciones libres propias y baja sensibilidad, destinados fundamentalmente al monitoreo de eventos sísmicos locales o a investigaciones específicas de alcance limitado. Al mismo tiempo algunos sensores con períodos medios de hasta 13 segundos de oscilaciones libres eran instalados en las estaciones de Soroa y Río Carpintero.

Una nueva etapa de desarrollo estuvo marcada por la introducción de la telemetría analógica en Cuba, que permitió la instalación de una red regional de estaciones de corto periodo alrededor de la ciudad de Santiago de Cuba, segunda ciudad en importancia económica y social y sometida a un riesgo sísmico considerable.

El uso de canales de radio para transmisión de señales y los primeros experimentos de digitalización de señales sísmicas entre los años 1988-1994 representaron otro paso de avance posibilitando la paulatina automatización del análisis de estas señales en tiempo real. En los trabajos de Diez & Moreno (1992), Diez (1992) y Diez (1999) se detallan las particularidades técnicas de estas redes.

En 1998 y como resultado de la ejecución de un proyecto de desarrollo tecnológico, con apoyo gubernamental, para la modernización de la infraestructura técnica de la red sísmica cubana (Zapata *et al.* 1999), fueron adquiridos e instalados equipos que, en su momento, representaron un cambio tecnológico significativo en Cuba. Esto permitió establecer una red nacional de banda ancha, dotada de sensores de 20 segundos de período y digitalizadores de 16 bits de rango dinámico, una red regional de corto período, formada por sismómetros de 1 segundo y similares digitalizadores y una red acelerográfica compuesta por 4 estaciones en régimen de disparo y almacenamiento local de la información; la información detallada de esta red se encuentra en Diez (1999) y Moreno (2002).

Desde el punto de vista analítico, fueron introducidos programas de adquisición en tiempo real y de análisis de terremotos que garantizaban una determinación de los parámetros energéticos-espaciales de los eventos sísmicos con relativa precisión. Sucesivas modificaciones de estos programas de cálculo y la introducción del SEISAN (Havskov & Ottermoller, 1999) como programa de análisis de uso extensivo en la región conllevaron a una mejora radical del análisis de las señales sísmicas.

Sin embargo, la concepción de una red sísmica conectada en tiempo real al Observatorio Geodinámico quedaba comprometida por las limitaciones de conectividad del país teniendo en cuenta la lejanía de algunas estaciones, ausencia de líneas de transmisión de datos y complejidades topográficas de las zonas de emplazamiento de las estaciones de campo. Este inconveniente, unido a la paulatina obsolescencia del equipamiento y la carencia de insumos de repuesto, llevaron a una situación límite en lo concerniente a la disponibilidad de canales sismográficos para la cobertura del territorio nacional y para la consecución de proyectos de investigación científico-técnicas.

La modernización de este equipamiento se convirtió en una necesidad insoslayable del CENAI y de su Servicio Sismológico en aras de mantener el monitoreo de la actividad sísmica en Cuba y zonas adyacentes del Caribe con un alto grado de precisión y fiabilidad.

LA RED SÍSMICA CUBANA ACTUAL

Una de las particularidades de la red sísmica instalada, a partir de las características de los sensores y digitalizadores utilizados, es el aumento de su capacidad de registro y la disminución del umbral de detección. La sensibilidad y respuesta en frecuencia de los sismómetros y acelerómetros permiten desde la detección de eventos pequeños locales, con magnitud 0,8 hasta terremotos fuertes que produzcan aceleraciones de 2 g sin que se observe el efecto de saturación del canal. El ancho de banda permite el registro de ondas procedentes de terremotos regionales y tele-sismos de suficiente energía que arriben a las estaciones. El mapa exhibido en el Figura 1, representa la capacidad teórica de detección de la red para el territorio de Cuba. Las isólinas representan las magnitudes correspondientes a los terremotos que pueden ser detectados desde la Estación Central en función de la distancia epicentral.

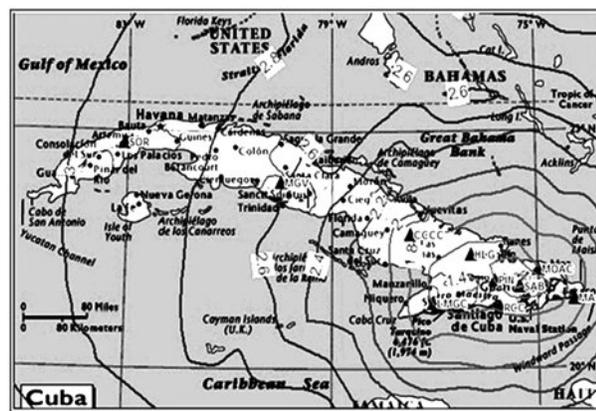


Figura 1. Rangos de detección de la red sísmica cubana para el territorio insular y zonas adyacentes. Las isólinas representan las magnitudes correspondientes a los sismos que pueden ser detectadas en función de la distancia epicentral

Red de Banda Ancha

Manteniendo en lo esencial la concepción del proyecto anterior, el mapa de la Figura 2 muestra la distribución espacial de la red nacional de estaciones de Banda Ancha. En la Tabla 1 se muestran las coordenadas geográficas de estos sitios.

Las estaciones están conformadas por sensores de 60 segundos, excepto la estación de Cascorro (CCCC) que

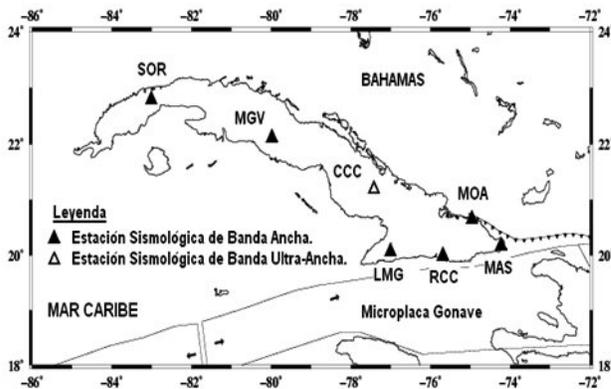


Figura 2. Distribución de las estaciones de la red de banda ancha (González et al. 2012)

dispone de un sismómetro de 120 segundos y además operan digitalizadores con un rango dinámico de 24 bits. La unión de las características de estos dos elementos permite la cobertura total del espectro sísmico, sea en ancho de banda como en rango dinámico. La conectividad está garantizada mediante canales de transmisión de datos usando tecnología de módems telefónicos ADSL y SHDSL así como enlaces satelitales con velocidad de transmisión limitada en la actualidad a 128 Kbytes/s.

Tabla 1. Coordenadas de las estaciones de banda ancha en Cuba y sensores usados desde 2010

Estaciones	Latitud Norte	Longitud Oeste	Sensores
RCC	19,995	-75,696	BBVS60, BBAS-2
LMGC	20,058	-77,002	BBVS60, BBAS-2
MASC	20,176	-74,231	BBVS60, BBAS-2
MOAC	20,658	-74,95	BBVS60, BBAS2
CCCC	21,189	-77,41	BBVS120
MGV	22,108	-79,976	BBVS60
SOR	22,789	-83,005	BBVS60

Sensores

Tres tipos de sensores se instalaron en las estaciones de la red de Banda Ancha; en el caso de las estaciones de la zona oriental de Cuba cercanas a zonas de fallas potencialmente muy peligrosas y con una actividad sísmica constante, son usados los sismómetros BBVS-60 (sismómetros de Banda Ancha con 60 segundos de período de oscilaciones libres) y aprovechando la escalabilidad de 3 a 6 canales del digitalizador, en paralelo, acelerómetros BBAS-2 que son sensores para detección de terremotos fuertes con aceleraciones hasta 2g (Geodevice, 2007a).

Los primeros son sensores de elevada sensibilidad, 2000

v/m/s en la parte plana de la curva que se extiende hasta los 60 y/o 120 segundos. El amortiguamiento es crítico y no existen picos resonantes en ninguna frecuencia.

Estas características permiten la detección, además de las ondas P y S, de ondas de reflexión, refracción y superficiales sin distorsión. La información técnica detallada se puede encontrar en Geodevice (2007b).

El sismómetro BBVS-120 extiende aún más la banda de frecuencias con respuesta para la detección requiriendo para ello condiciones de instalación especiales. Teniendo en cuenta que el ruido propio de estos sensores ha sido optimizado y reducido por debajo de los límites de la curva de bajo ruido nuevos modelos de bajo y alto ruido NLNM y NHNM, de acuerdo con Geodevice (2007b), el límite inferior del rango dinámico efectivo depende entonces del ruido sísmico ambiental asociado con el sitio del emplazamiento. En el Figura 3 se brindan los datos técnicos relativos al ruido y a la saturación mecánica de este sensor.

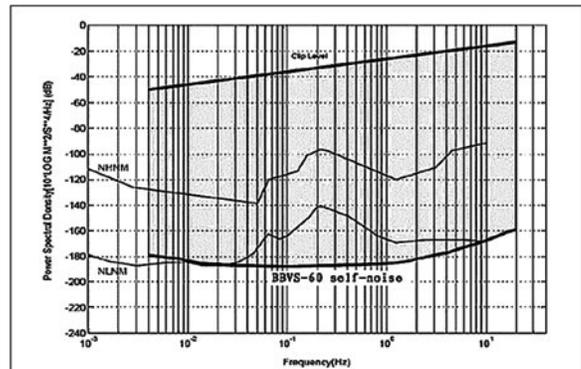


Figura 3. Esquema del ruido propio y el nivel de saturación mecánica correspondientes al sismómetro BBVS-60 en comparación a los nuevos modelos de bajo y alto ruido NLNM y NHNM de Petersen (1993), extraído de la documentación técnica de Geodevice (2007b)

Digitalizadores

Los sismómetros y acelerómetros está conectados a un digitalizador de 3 ó 6 canales según sea el caso (EDAS-24IP3 ó IP6 respectivamente), sus principales características son su resolución de 24 bits que representa un rango dinámico de ~ 140 dB, además soporta el protocolo de red TCP/IP para trasmisión de datos, teniendo la posibilidad de grabación interna de la traza a través de una memoria Compact Flash de 8 Gbytes y el marcaje de tiempo mediante una tarjeta GPS que garantiza la precisión en el orden de 10-6 s. A diferencia de los digitalizadores instalados anteriormente, estas unidades, además de realizar la conversión analógico-digital, constituyen equipos inteligentes de adquisición,

grabación y tráfico de datos pudiendo ser configurados y encuestados de forma remota usando cualquiera de las vías de conectividad existentes.

Red de Corto Período

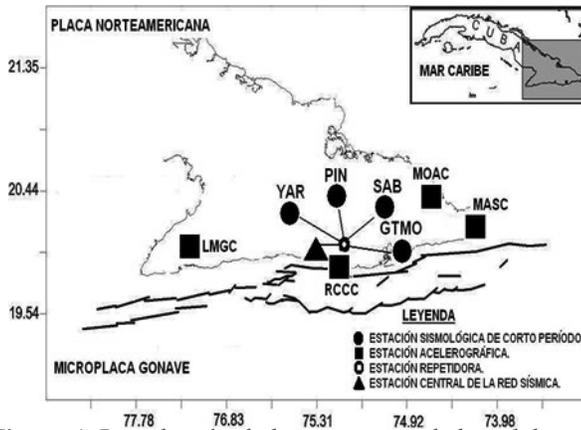


Figura 4. Distribución de las estaciones de la red de corto período en el oriente de Cuba

En semicírculo alrededor de la ciudad de Santiago de Cuba se extiende una red de 5 estaciones de corto período, mostrada en la Figura 4, destinada al monitoreo de la actividad sísmica local. Las dos que operan en este momento tienen canales de medición formados por sismómetros FSS-3M, sensores de dos segundos de período y alta sensibilidad, los digitalizadores son similares a los empleados en la red de banda ancha con solo tres canales analógicos de entrada. Las coordenadas se muestran en la Tabla 2.

Sensores

Se instalaron sismómetros de corto período FSS-3M, sensores de dos segundos de período de oscilaciones libres que utilizando la técnica de realimentación con extensión del rango de frecuencias, tienen como características fundamentales la alta sensibilidad (2000 V/m/s) y el coeficiente de amortiguamiento crítico de 0.7.

Tabla 2. Coordenadas de las estaciones de corto período en Cuba y sensores usados desde 2010

Estaciones	Latitud Norte	Longitud Oeste	Sensores
YAR	20,336	-76,347	FSS-3M
PIN	20,474	-75,798	FSS-3M
SAB	20,363	-75,311	FSS-3M
GTMO	19,961	-75,061	FSS-3M
HLG	20,889	-76,2576	FSS-3M

Con un montaje tri-axial acomodan tres sensores correspondientes a las tres componentes N/S, E/W y

vertical Z encapsuladas en un solo contenedor. El diseño robusto de estos permite disponer de menor relación señal-ruido en las señales detectadas sin necesidad de ajustes manuales de la posición de cero y el período de la masa del péndulo, esenciales en el registro de ondas provenientes de terremotos locales (Geodevice, 2007c).

Digitalizadores

Se utilizó el EDAS-24IP de tres canales de adquisición de datos analógicos similares a los usados en el resto de la red de estaciones sísmicas.

Comunicaciones

Teniendo en cuenta las peculiaridades de la topografía de la zona de emplazamiento de estas estaciones, fue necesario repetir en un punto dominante todas las señales provenientes de las estaciones de campo. El sistema adopta dos tipos fundamentales de enlaces de radio profesionales para construir el canal de comunicaciones, de manera de asegurar alta fiabilidad, seguridad y velocidad de transmisión en tiempo real. Los enlaces de radio primarios son en la banda de muy alta frecuencia (VHF, 222 Mhz) mediante los radios de transmisión de datos serie MDS-2710, configurados en enlaces punto a punto entre las estaciones de campo y el repetidor.

Estos equipos tienen la posibilidad de configuración mediante un programa que funciona bajo plataforma Windows de las frecuencias de recepción y transmisión, la potencia de placa, la corrección de errores, la velocidad de transmisión del dato, el modo de trabajo, entre otros. Operan con una velocidad de transmisión de datos de 192Kbps y una potencia de 5 watts, su bajo consumo energético, ideal para aplicaciones de campo donde existe alimentación con baterías, energía solar o ambas, garantiza enlaces fiables de hasta 80 kilómetros de distancia con antenas direccionales de 9 y 12 dB de ganancia. El segundo enlace de esta red se diseñó usando una pareja de radios Ethernet MDS iNET-II 900, equipos de transmisión de datos a través del protocolo TCP/IP en la frecuencia de 902-928 Mhz. El primero de ellos, localizado en la estación repetidora, recibe una trama digital de datos que contiene las señales de todas las estaciones conectadas al sistema. Usando un servidor serial, modelo MOXA 5610, se convierten los datos series provenientes de los radios MDS-2710 en una trama digital afín al protocolo TCP/IP para su posterior transmisión. El servidor serial dispone de hasta 8 canales de entrada seriales bidireccionales para expansiones de la red con la posibilidad de acceso a los servicios TCP Server, TCP Client, UDP y Real Comp, la configuración de sus

parámetros se hace mediante interfaces WEB, TELNET o a través de un programa específico sobre sistema operativo Windows.

El radio MDS iNET-II 900 es un transceptor que provee una conexión tipo puente para protocolo Ethernet y tiene la posibilidad de configuración mediante direcciones IP, soportando además los protocolos de asignación automáticos DHCP y DNS, de manera que su integración en una red de transmisión de datos se simplifica. Con una potencia de transmisión de 1 watt y bajo consumo energético, asegura un enlace de hasta 40 km en línea visual sin interferencias topográficas. En el caso específico de la red cubana es usado un solo enlace punto a punto, no obstante las múltiples formas de interconexión disponibles para ser usadas. Sus parámetros principales pueden ser, a semejanza del MDS-2710, configurados a través de interfaces gráficas WEB, TELNET y también mediante programas propietarios de la forma GE MDS.

Soporte energético

Las estaciones de campo de la red de corto período son autónomas desde el punto de vista energético, dotadas de paneles solares, controladores de carga inteligentes y un banco de baterías. La combinación de estos elementos garantiza el funcionamiento ininterrumpido de las estaciones independientemente de la red eléctrica nacional.

Calibración de los canales sismográficos

La calibración de sismómetros se realiza teniendo en cuenta dos peculiaridades de los equipos: la existencia de una bobina auxiliar de calibración en los sismómetros y la inclusión de un convertidor digital analógico en el EDAS-24IP.

Mediante el procedimiento descrito en Geodevice (2007d), son usados dos tipos de métodos de calibración:

- Inyección de un pulso.
- Inyección de un tren de ondas sinusoidales con parámetros ajustados en amplitud y frecuencia.

El paquete de programas de cálculo de las características de los sensores tiene los siguientes objetivos:

- Determinar las características de amplitud-frecuencia de los canales sismográficos.
- Determinar la ecuación de 2do orden que rige el comportamiento del sismómetro así como su parametrización en términos de polos y ceros.

- Calcular la respuesta en frecuencia del canal sismográfico y su equivalente en polos y ceros.
- Medición de la densidad espectral de potencia del ruido de fondo y del emplazamiento de las estaciones sismológicas.

Estos programas trabajan con ficheros ASCII obtenidos directamente de los digitalizadores EDAS-24IP o convertidos convenientemente a partir de los ficheros con formato propietario de Geodevice. El procedimiento incluye, para la calibración, inyectar un tren de ondas sinusoidales con amplitudes y atenuaciones fijas en un número de frecuencias puntuales, específicas para cada tipo de sensor sometido a calibración. El digitalizador registra los ficheros de respuesta del sismómetro en cada una de sus componentes.

El mismo procedimiento es usado para la calibración por impulso. El paquete de programas prevé el uso de cada uno de los métodos descritos con anterioridad por separado o el uso de ambos ficheros resultantes al unísono para el cálculo de la respuesta en frecuencia.

Los resultados del uso de la calibración se obtienen a través de tres formas diferentes, la obtención de la función de transferencia, la versión de ésta en términos de polos y ceros y las gráficas correspondientes a ambas (Diez *et al.* 2006; Diez *et al.* 2010). La función de transferencia del sismómetro está dada en la ecuación siguiente:

$$H(s) = \frac{KA_0s^2}{(s^2 + 0,148s + 0,010)(s^2 + 335,5s + 63165)} \quad (1)$$

La función de transferencia del canal sismográfico N-S completo de una estación sísmica típica con sensor BBVS-60 se muestra en la Figura 5.

Esta función de transferencia, en términos de polos y ceros, es introducida al programa de adquisición en tiempo real a través de un fichero de configuración, permitiendo inferir, del registro sísmico, el efecto de las componentes instrumentales para una correcta extracción de la señal útil (Diez *et al.* 2012; Zuliani & Diez, 2012; Diez, 2013).

Por otra parte, el cálculo de la densidad espectral de potencia del ruido se realiza mediante la grabación de una trama de señal que no contenga terremotos y se promedia para diferentes horas del día durante el año. Este resultado permitió determinar el umbral de ruido natural y cultural de los sitios de emplazamiento de las estaciones sismológicas y comprobar la calidad del cuarto de instalación de los sensores así como el rango dinámico efectivo de registro,

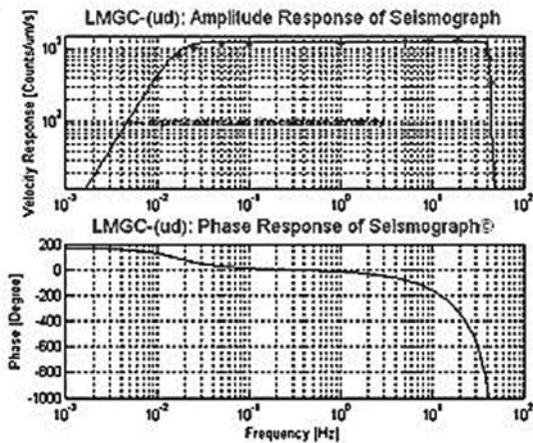


Figura 5. Respuesta en frecuencia del canal sismométrico BBVS60-EDAS24IP

específicamente para la estación de Cascorro (CCCC), donde se instaló un sismómetro BBVS-120. En la Figura 6 se observa el gráfico correspondiente al ruido natural de esta estación, concluyendo que la densidad espectral promedio está dentro de los límites definidos por los modelos de Peterson (1993) excepto para frecuencias por debajo de 0,05 Hz, en las cuales el ruido registrado por los tres canales excede los valores de la curva de NHNM y dificulta o inhabilita la detección de sismos lejanos. La solución a este problema debe ser radical e incluye el diseño de un nuevo emplazamiento soterrado para este tipo de sismómetro evidenciando la necesidad de trabajar en el aislamiento térmico, barométrico, electromagnético y mecánico, así como en la instalación y protección de estos sensores para reducir aún más, específicamente en la zona de bajas frecuencias, la densidad espectral del ruido propio del canal sismométrico.

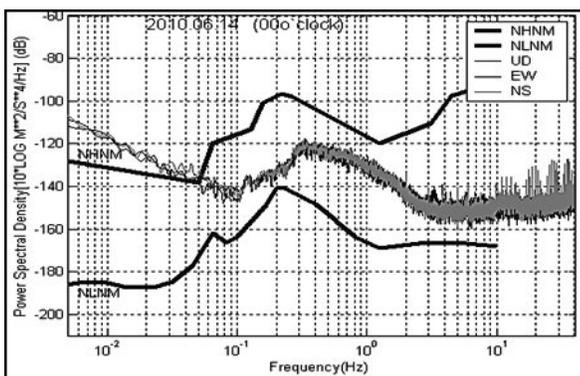


Figura 6. Densidad espectral de potencia (PSD) del ruido del emplazamiento para la estación Cascorro (CCCC) para las tres componentes y en comparación a los nuevos modelos de bajo y alto ruido NLNM y NHNM de (Peterson, 1993)

La metodología para la obtención de la densidad espectral de ruido propia del sensor tiene algunas similitudes con la anterior y sus detalles pueden ser encontrados en Evans *et al.* (2010) y Ringler & Hutt (2010). Las conclusiones más importantes que emergen de estos cálculos son que los sismómetros BBVS-60 y BBVS-120 tienen características de ruido propio similares y en ocasiones mejores que similares instrumentos fabricados por empresas líderes en este campo y cumplen con los requerimientos y estándares sismológicos mundiales.

Estación Central

La Estación Central de la red sísmica se concibió como el lugar de confluencia de la información procedente de todas las estaciones de campo, las de banda ancha, corto período y acelerométricas.

El análisis de los datos, determinación de los parámetros energético-temporales de los terremotos, la generación de reportes, boletines, catálogos, así como la implementación de sistemas de aviso para protección de la población. En este sentido sus requerimientos fundamentales fueron:

- Posibilidad de recibir los datos digitales correspondientes a las señales sísmicas detectadas en tiempo real a través de Internet o enlaces inalámbricos de transmisión de datos, almacenar estos localmente y generar los ficheros de datos para su posterior análisis.
- Auto-detección de los posibles eventos sísmicos, realización de la localización automática de sus epicentros y cálculo de sus parámetros energéticos para generar los ficheros de eventos y temporales.
- Capacidad de brindar información sobre el estatus de la red, fallas de enlace o pérdida de información, verificación de los ficheros de calibración de los canales sismográficos, estadísticas del funcionamiento de la red y emitir alarmas ante fallos y/o ocurrencia de eventos sísmicos.
- Ofrecer la posibilidad de la acción humana en el sistema a partir del re-análisis de los datos registrados, con la opción de incidir sobre los ficheros de eventos auto registrados por el sistema para su corrección o la extracción de señales de microsismos, por debajo del umbral de detección, de forma manual a partir de los registros continuos.
- Gestionar una base de datos online que permita el control de los registros de eventos y el resultado de su análisis, la elaboración de mapas de epicentros, el intercambio de información, la generación de reportes temporales y la edición de catálogos de terremotos.

Para cumplir estos requerimientos se diseñó un sistema que, en sus partes fundamentales, comprende los siguientes elementos de hardware y software:

1. Hardware

- Un servidor de adquisición en tiempo real de los datos sísmicos que además funciona con servidor de intercambio de datos.
- Un servidor que soporta la base de datos en línea y los programas de monitoreo del sistema y la red.
- Un servidor de adquisición en sistema operativo SCO Unix para soporte, en caso de fallo del servidor Windows.
- Un set de computadoras para análisis de los registros sísmicos en línea y para procesamiento conjunto de los datos registrados.
- Elementos de interconexión, ruteadores, conmutadores y otros.

2. Software

- Programa de procesamiento en tiempo real.
- Programa interactivo de análisis de datos.
- Programa de análisis de datos de terremotos fuertes.
- Programa para servidor de intercambio de datos.
- Sistema de monitoreo en tiempo real.
- Sistema de manejo de base de datos.
- Windows Server 2008.
- Windows SQL 2008.
- SCO Open server.

Los detalles específicos de los programas de adquisición, análisis, tráfico de datos y bases de datos sísmicas están descritos en Geodevice (2007d). Las especificaciones de los sistemas operativos, sistemas de bases de datos, y servidores Windows y Unix SCO están referenciados en los respectivos manuales de usuario y otros documentos de Microsoft y SCO respectivamente.

En la Figura 7 se ejemplifica un terremoto registrado por esta red.

CONCLUSIONES

Después del montaje, instalación, calibración y puesta a punto de las estaciones, la operación de éstas en conjunto con la infraestructura de soporte de comunicaciones y el trabajo de los analistas durante más de dos años, ha evidenciado la acertada selección del equipamiento instalado, a través de los siguientes resultados:

- Aumento de la capacidad de registro de la red sísmica

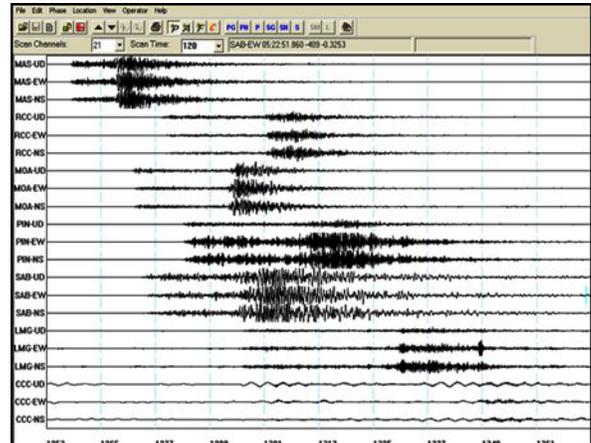


Figura 7. Pantalla principal de programa de análisis de la data sísmica en Windows, EDSP-IAS con el registro de un terremoto regional por la red sísmológica cubana

a través de la disminución del umbral de detección de las estaciones, la sensibilidad de los sensores, el rango dinámico de los digitalizadores y la respuesta en frecuencia de los canales sismográficos.

- Posibilidad de acceso remoto a las estaciones de campo para revisión, reparación de averías y calibración
- Conectividad total y recepción de las señales en tiempo real las 24 horas.
- Automatización parcial del proceso de detección, análisis automático y determinación de epicentros, en paralelo con el análisis manual tradicional realizado por especialistas.
- Aumento de la rapidez en el análisis y la generación de datos, boletines, partes sismológicas e informes científicos sobre los eventos sísmicos perceptibles y sus correspondientes réplicas para proveer de información concisa y real a las instituciones de políticas, gobierno y defensa civil.

Desde el punto de vista de la colaboración científica internacional, se ha trabajado en la inserción de los datos generados por la red cubana en los sistemas análogos de los países del área; así mismo, se ha podido acceder a los datos de estaciones del área que permiten mejorar la calidad de la información sobre los parámetros de los terremotos y la precisión en la determinación de los epicentros y las magnitudes de estos fenómenos naturales.

RECOMENDACIONES

Las proyecciones futuras de trabajo del Servicio Sismológico Cubano incluyen la densificación de la red para lograr mayor cobertura y capacidad de análisis de la sismicidad en el territorio nacional, el aumento de la colaboración científica y el intercambio de datos a nivel internacional y el

diseño y futura instalación de redes de alerta temprana para las zonas y ciudades sometidas a mayor peligro sísmico.

Esto permitirá introducir el concepto de sismología en tiempo real y por consiguiente reducir aún más las consecuencias y los desastres que se deriven de la ocurrencia de estos fenómenos naturales.

REFERENCIAS

- EVANS, J. R., FOLLOWILL, C. R., HUTT, R. P., KROMER, J. M., STEIM, R. L., NIGBOR, A. RINGLER T., WIELANDT, E. (2010). Method for calculating self-noise spectra and operating ranges for seismographic inertial sensors and recorders. *Seismological research letters*, 81, (4), pp. 640-646, ISSN 0895-0695.
- DIEZ, E. (1992). Portable System for Measurement Seismic signal in Seismological Research. *Revista Ciencia en su PC*, Vol. II, #2, pp. 56-62, ISSN 1027-2887.
- DIEZ, E. & MORENO, B. (1992). Telemetric-Computerized System for Applied Seismological Research, *Revista Ciencia en su PC*, Vol. II, #2, pp. 63-73, ISSN 1027-2887.
- DIEZ, E. (1999). Cuban National Seismo-telemetric network, Abdus Salam Internacional Centre for Theoretical Physics (ICTP). Preprint 1999038.
- DIEZ, E. (2013). Validación del algoritmo TFE usado para la determinación de la respuesta en frecuencia de sensores sísmicos, límite de confiabilidad. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*. Volumen 14, Número 1, ISSN 1729-3790.
- DIEZ, E., ZULIANI, D., PONTÓN, F. (2006). Cuban seismic network short period seismometer calibration. Abdus Salam Internacional Centre for Theoretical Physics (ICTP). Internal report, IC/IR/2006/006.
- DIEZ, E., ZULIANI, D., PONTÓN, F. (2010). Cálculo de la respuesta en frecuencia para sensores sísmicos inerciales mediante el script VIBROCALC. II Convención Internacional de la Ingeniería en Cuba y VI Conferencia de Ingeniería mecánica, eléctrica e industrial. Editorial Obras, ISBN 978-959-247-077-4.
- DIEZ, E., ZULIANI, D., PONTÓN, F. (2012). Mejoramiento de la calidad del registro sísmico mediante el cambio de la metodología de calibración de los sensores, caso de estudio sismómetro SM-3. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*. Volumen 13, Número 1. ISSN 1729-3790.
- GEODEVICE (2007a). Beijing GangZhen Mechanical and Electronic Technology Co., Ltd., (2007). BBAS-2 User Manual.
- GEODEVICE (2007b). Beijing GangZhen Mechanical and Electronic Technology Co., Ltd., (2007). BBVS-60/120 User Manual.
- GEODEVICE (2007c). Beijing GangZhen Mechanical and Electronic Technology Co., Ltd., (2007). FSS-3M User Manual.
- GEODEVICE (2007d). Beijing GangZhen Mechanical and Electronic Technology Co., Ltd., (2007). User Manual of Parameter Determination Software of Digital Seismograph.
- GONZÁLEZ, O., MORENO, B., ROMANELLI, F. PANZA, G.F. (2012). Lithospheric structure below seismic stations in Cuba from the joint inversión of Rayleigh surface-waves dispersión and receiver functions. *Geophysical Journal International* 189, 1047-1059, doi:10.1111/j.1365-246X.2012.05410.x.
- HAVSKOV, J. & OTTERMOLLER, L. (1999). SeiSan earthquake analysis software. *Seismological Research Letters*, 70, pp 532-534, 1999.
- MORENO, B. (2002). The New Cuban Seismograph Network. *Seismological Research Letters*, 73, pp. 504-517, ISSN 0895-0695.
- PETERSON, J. (1993). Observation and modeling of background seismic noise. U. S. Geological Survey, Albuquerque, New Mexico. Open file report 93-322, pp. 10-12.
- RINGLER, A. T. & HUTT, C. R. (2010). Self-Noise Models of Seismic Instruments. *Seismological research letters*, 81, (6), pp. 972-983, ISSN 0895-0695.
- SERRANO, M. & ESCALONA, S. (1979). La red de estaciones sismológicas de las provincias orientales. Resúmenes 2da Jornada Científica del Instituto de Geofísica y Astronomía, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, Cuba.
- ZAPATA, J. A., GUASCH, F., SERRANO, M., MONTENEGRO, C., GONZÁLEZ O., DIEZ, E., PINO, J. (1999). Servicio Sismológico Nacional de Cuba, primeros resultados

después de la transformación tecnológica. Libro Red de estaciones e Investigaciones Sismológicas de Cuba. Editorial Academia, ISBN 959-02-02.

ZULIANI, D., DIEZ, E. Y PONTON, F., “Vibrocalc, seismometer frequency response elaboration software”. Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio. Volumen 13, Número 1, pp 15-23, ISSN 1729-3790, 2012.