

SIS-01

BIOT THEORY, BISQ MODEL AND VOLUME-AVERAGING BASED THEORY OF POROELASTICITY

Pratap N. Sahay
 Depto. de Sismología, CICESE
 Ensenada, B.C., 22860, México

The Biot theory (Biot, JASA 1956) is known to under estimate experimentally measured values of velocity and attenuation. Attempts have been made to account for the deviation on the basis of postulating "squirting" oscillation of fluid within pores (BISQ model; Dvorkin and Nur, Geophys. 1993). This approach introduces an adjustable parameter in the macroscopic fluid pressure equation of the Biot theory without altering its macroscopic solid pressure equation. In this presentation we show that any modification of an elastic parameter in Biot's fluid pressure equation in turn implies a corresponding change in Biot's solid pressure equation also. The analysis is based upon linking the porosity perturbation that occurs during the deformation to the macroscopic fluid and solid pressures. We find that once the correction for squirt flow is properly incorporated in the Biot theory, the resulting framework is in fact the volume-averaging based theory of poroelasticity (de la Cruz and Spanos, Geophys. 1985; Sahay et al., GJI 2001)

SIS-02

1D PROBLEM FOR A STACK OF POROUS LAYERS

Adriana Arroyo and Pratap Sahay
 Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

Current inversión algorithms to determine physical properties of reservoir rocks are based on assuming the medium to be a stack of homogeneous acoustic layers. Given the availability of three component data a more appropriate model could be a stack of homogeneous poroelastic layers ie. to consider the media indeed a solid matrix filled with fluid. I will present the solution obtained for the normal incidence case of a stack of homogeneous porous layers.

SIS-03

TORSIONAL RESONANCE IN FLUID-SATURATED POROUS CIRCULAR CYLINDERS

Selene Solorza and Pratap Sahay
 Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

When a fluid-saturated porous circular cylinder is set into torsional resonance, as it is done in a resonance-bar experiment, we also observe a decrement of the amplitude of the vibration, which implies existence of attenuation. The theory of poroelasticity suggests that the likely mechanism of this attenuation is the flow of pore-filling fluid with respect to the solid frame. In this presentation we shall report the current status of the work on linking torsional resonance frequency and amplitude decrement (attenuation) to shear modulus of the solid frame and fluid mobility (*i.e.*, the ratio of the shear viscosity of fluid to permeability).

SIS-04

COMPORTAMIENTO EFECTIVO DE COMPUESTOS PERIODICOS BIDIMENSIONALES

F.J. Sabina¹, J. Bravo Castellero², R. Guinovart Diaz², R. Rodriguez Ramos² y O. Valdiviezo Mijangos³
¹ IIMAS, UNAM

Apdo. Postal #20-726, Mexico, D.F., 01000, México
² Facultad de Matematica y Computacion, Universidad de la Habana

San Lazaro y L. Vedado, Habana 4, 10400, Cuba

³ Posgrado de Ciencias de la Tierra, UNAM
 C.U., Mexico, D.F., 04510, México

Se estudian las propiedades efectivas de un compuesto reforzado de fibras, binario y elastico de celda periodica cuadrada. Se obtienen formulas exactas para las rigideces efectivas, dando lugar a expresiones cerradas para compuestos con componentes isotropas. Se incluye el caso de fibras rigidas y vacias (medio poroso). Las formulas nuevas son sencillas y se pueden evaluar facilmente. Se calculan algunos ejemplos tipicos que muestran el efecto de reforzamiento de las fibras como funcion de la fraccion volumetrica hasta el limite de percolacion. Estos resultado tienen interes para las propiedades fisicas de las rocas.

SIS-05

COMPARACIÓN DE LAS PROPIEDADES EFECTIVAS DE ROCAS HETEROGÉNEAS CUYA MICROESTRUCTURA ES DIFERENTE

Oscar Valdiviezo Mijangos¹ y Federico J. Sabina²
¹ Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM

Ciudad Universitaria, México, D.F., 04510, México
² Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, UNAM

Apdo. Postal #20-726, Admon. No. 20, Deleg. A. Obregón, México, D.F., 01000, México

En general, para caracterizar las propiedades elásticas de las rocas éstas son consideradas como isotropas, debido a que se supone que los ejes cristalográficos se encuentran distribuidos aleatoriamente. En el presente trabajo se presenta una comparación de las constantes efectivas entre diferentes medios compuestos que contienen fibras cilíndricas de sección transversal circular arregladas periódicamente. Uno de los medios tiene una celda base de forma cuadrada y el otro de forma hexagonal. El Método de Homogeneización Asintótica es usado para hallar las propiedades efectivas del medio compuesto. Básicamente este método permite hallar las propiedades efectivas de medios heterogéneos con más de una fase a partir de su microestructura.

Se consideraron dos matrices isotropas: una epóxica y otra polímera. Las fibras son minerales cuya anisotropía es cúbica. Al cambiar la geometría, es decir, la forma de cómo están arregladas las fibras en el espacio que puede ser con una celda base cuadrada o hexagonal, se observan algunos hechos relevantes. En algunos casos las propiedades efectivas se modificaron considerablemente al cambiar la celda base (Oro-Polímero). En otros casos, por ejemplo, Aluminio-Epoxy prácticamente el medio compuesto permanece isotrópico a pesar que la fibra es anisótropa y que las fibras se

encuentran arregladas en forma diferentes. En otros casos el cambio de la geometría prácticamente no afecta a la anisotropía del medio compuesto (Tungsteno). La roca puede ser el doble de rígida con solamente cambiar de arreglo hexagonal a cuadrado (Plata).

SIS-06

SIMULATION OF AVO ATTRIBUTES IN THE CASE OF A THIN ELASTIC LAYER, ISOTROPIC AND ANISOTROPIC (VTI, HTI)

V.I. Sabinin¹, T.I. Chichinina¹ and I.R. Obolentseva²

¹ Proyecto D. 1341 YNF, Instituto Mexicano del Petróleo
Eje Central Lazaro Cardenas No. 152, Mexico, D.F., 07730,
México

² Institute of Geophysics, Siberian Branch of RAS, Koptyug pr.
3, 630090, Novosibirsk, Russia

In search for hydrocarbons in fractured rocks, of vital importance are reflections from thin layers. Seismic attributes depend on a thickness of the layer relative to a wavelength and its elastic moduli compared to those of a medium up and down the layer. The effect of contrasts at the layer's top and bottom on reflection coefficients is primarily a function of elastic symmetry type and then of elastic moduli values; therefore, we investigate reflection coefficients for main symmetry types encountered in seismic practice: isotropy and transverse isotropy with a vertical axis (VTI) and with a horizontal axis of varying direction (HTI). The latter case is of immediate interest for detection of fractures in the layer under investigation. In this connection, the centre of attention are thin layers with decreased velocities.

Simulation of reflection coefficients and seismograms has been made using a code Dinam [1]. In all computations, a thin layer (TL) of 0.07 km thick is situated at a depth of approximately 2 km inside a layered medium, and reflection coefficients and seismograms are computed for offsets up to 4.5 km.

Isotropic models. Model 1 simulates fractures, in Model 2 fractures are filled with gas.

Model 0: $V_p=5.28$, $V_s=2.64$ km/s, $\rho=2.70$ g/cm³ (TL with normal parameters).

Model 1: $V_p=4.80$, $V_s=2.40$ km/s, $\rho=2.58$ g/cm³ (TL with decreased V_p, V_s, ρ).

Model 2: $V_p=4.32$, $V_s=2.40$ km/s, $\rho=2.53$ g/cm³ (TL with decreased V_p, ρ).

VTI models. The velocities V_p, V_s at the symmetry axis are the same as those in the isotropic models; anisotropy coefficients K_p, K_{sv} are noted as ratios of maximum velocities to minimum ones and are the same in models 0, 1, 2.

Model 0: $V_p=5.28$, $V_s=2.64$ km/s, $K_p=1.04$, $K_{sv}=1.05$, $\rho=2.70$ g/cm³ (TL with normal parameters).

Model 1: $V_p=4.80$, $V_s=2.40$ km/s, $K_p=1.04$, $K_{sv}=1.05$, $\rho=2.58$ g/cm³ (TL with decreased V_p, V_s, ρ).

Model 2: $V_p=4.32$, $V_s=2.40$ km/s, $K_p=1.04$, $K_{sv}=1.05$, $\rho=2.53$ g/cm³ (TL with decreased V_p, ρ).

HTI models. The elastic parameters V_p, V_s, K_p, K_{sv} and density ρ are the same as in the above VTI models 0, 1, 2. A symmetry axis coinciding with a normal to the plane containing oriented fractures varies its position in the horizontal plane: $\alpha=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ from the profile.

Computations have shown that the reflections from the top and the bottom of the TL do not interfere at all, i.e., are fully separated, at frequencies 100 Hz and higher, and then we can determine the type of model and its parameters immediately. Also, HTI models are recognizable due to distinct dependence trace patterns on azimuth. In all other cases, the solution of inverse problems using AVO will not be so easy and requires more data (the use of attenuation attributes, data on converted PS waves, etc.).

References:

Obolentseva, I.R., and Grechka, V. Yu. Ray method in anisotropic media (algorithms, programs), 1989, Novosibirsk.

SIS-07

APLICACIÓN DE LA TRANSFORMADA KARHUNEN-LOEVE Y MULTIRESOLUCIÓN EN EL DOMINIO TIEMPO-FRECUENCIA

M. Manuel Lozada Zumaeta¹, Gerardo Ronquillo Jarillo¹ y Oscar Campos Enríquez²

¹ YNF, Instituto Mexicano del Petróleo
México, D.F., 07730, México

² Instituto de Geofísica, UNAM
México, D.F., 04510, México

El objetivo más importante del análisis de componentes principales es el de reducir la dimensionalidad del problema que se está estudiando. En esta etapa previa a futuros análisis se eliminan, cuando sea posible, algunas de las variables originales si ellas aportan poca información. Se realiza el análisis de los componentes que sintetizan la mayor variabilidad de un sistema de puntos. La inspección de estos componentes, que resumen la mayor proporción posible de la variabilidad total entre el conjunto de puntos, representa una herramienta para clasificar o detectar relaciones entre los puntos.

La idea del análisis de multiresolución es la de sintetizar cierta función del tiempo o del espacio como un límite de sucesivas aproximaciones de diferentes resoluciones alisadas. La diferencia entre dos aproximaciones sucesivas es el detalle correspondiente a una resolución dada, el que puede ser determinado por la transformada ondicular de la función en análisis. Una representación ondicular en términos generales, se basa en una señal transitoria u ondícula (función base), cuyo contenido de frecuencias decae rápidamente a las muy bajas frecuencias, y la utilización de las versiones dilatadas y comprimidas de esta ondícula para efectuar el análisis. La teoría del análisis de multiresolución y el descubrimiento de las ondículas ortogonales de soporte compacto (Daubechies, 1988) ha hecho posible implantar la transformada ondicular como un algoritmo eficiente, cuya implantación discreta puede ser interpretado como un despliegue sucesivo de aproximaciones.

En este marco general, presentamos los resultados de la experimentación numérica (datos geofísicos de pozo y sísmicos de reflexión) de la aplicación en pasos sucesivos del análisis de

componentes principales y del análisis de multiresolución. Las componentes principales de máxima variabilidad se introducen como datos de entrada del análisis de multiresolución en el dominio de la transformada ondicular. La evaluación de resultados nos permiten concluir que el método es aprovechable en la discriminación de propiedades de la señal en áreas de diferentes contenidos de terrígenos y que la distribución de la variancia de los coeficientes asociados con la transformada discreta rápida ondicular en función de las diferentes escalas disminuye en datos sísmicos de baja frecuencia.

SIS-08

TRANSFORMADA DE HILBERT MEDIANTE TRANSFORMADA ONDICULAR

David E Rivera Recillas^{1,2}, Oscar Campos Enríquez¹, M. Manuel Lozada Zumaeta² y Gerardo Ronquillo Jarillo²

¹ Instituto de Geofísica, UNAM

² Instituto Mexicano del Petróleo, YNF

A partir de la transformada de Hilbert se pueden calcular los atributos sísmicos instantáneos convencionales: amplitud, fase y frecuencia. El cálculo de ésta transformada se realiza normalmente mediante las técnicas de Fourier. En este trabajo se muestra que la transformada ondicular discreta ofrece una forma efectiva para calcular la transformada de Hilbert.

La transformada de Hilbert es un operador lineal homogéneo que se puede diagonalizar en el dominio de la transformada ondicular. En general, dado un operador lineal homogéneo y una base ondicular biortogonal se puede construir una nueva base ondicular biortogonal. En ésta última base el operador está diagonalizado.

Una ventaja de la transformada ondicular discreta es que preserva la localización de las componentes de una señal y permite distinguir entre el ruido y la señal en un rango de frecuencia dada. Se presentan aquí ejemplos de algunas señales y sus transformadas de Hilbert.

SIS-09

LA TRANSFORMADA ONDICULAR COMO UNA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO

M. Manuel Lozada Zumaeta¹, Gerardo Ronquillo Jarillo¹ y Oscar Campos Enríquez²

¹ YNF, Instituto Mexicano del Petróleo

México, D.F., 07730, México

² Instituto de Geofísica, UNAM

México, D.F., 04510, México

Mediante la presentación de resultados de aplicaciones al procesado, análisis e interpretación de datos sísmicos de reflexión, se ilustrará la importancia de la transformada ondicular uni y bidimensional, como herramienta complementaria en el análisis y procesamiento de series de tiempo.

La transformada ondicular permite obtener información a una frecuencia específica, de las variaciones de amplitudes en función del tiempo. La transformada ondicular es una herramienta de análisis tiempo-frecuencia (espacio-escala), que permite una

representación intermedia, en la cual está disponible, tanto la información espectral como la espacial. En términos generales esta herramienta matemática supera las limitaciones inherentes del análisis basado en la transformada de Fourier, y en la Transformada de Fourier ventaneada. La principal limitación como sabemos es que el análisis espectral clásico no permite discriminar variaciones abruptas o cualquier oscilación local de la señal ya que en el dominio de la frecuencia la información de ésta se distribuye de acuerdo sólo a su frecuencia sin considerar su posición temporal, esto es, la información se distribuye en el rango de frecuencias completo del espectro.

SIS-10

IDENTIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE ARRIBOS P Y S EN SISMOGRAMAS DIGITALES, POR MEDIO DE LA TRANSFORMADA ONDICULAR

Oscar M. Romero de la Cruz¹ y José G. Acosta Chang²

¹ Instituto de Geología, UNAM

² Depto. de Sismología, CICESE

Se desarrolló un método para la identificación automática del tiempo de arribo de las fases P y S en sismogramas digitales, el cual se basa en la formación del plano tiempo-escala con Transformada Ondicular (TO), en la aplicación de truncamientos de altura progresiva para eliminar la información poco representativa (ruido) en ese plano, y en aislar los coeficientes ondiculares de alto valor que representan la información asociada a las fases P y S. Se forma una tabla de frecuencia de ocurrencia con los tiempos de los coeficientes más tempranos que sobreviven a los truncamientos; se selecciona como tiempo de arribo al promedio de aquel grupo de tiempos con mayor frecuencia de ocurrencia, lo cual implica una mayor resistencia al corte. Se aprovecharon dos propiedades importantes de la TO: 1) la visualización simultánea de la energía de una señal a lo largo de dos parámetros (tiempo y escala) que representan al tiempo y a la frecuencia, y 2) el fácil discernimiento de la información poco representativa en la formación de la señal. Para aplicar la TO se utilizó cuatro diferentes ondículas para cubrir las posibles formas de onda que adaptaría el primer arribo de cada fase sísmica. Se probaron diferentes combinaciones de valores de truncamientos y escalas en el dominio ondicular para reducir el rango de búsqueda del tiempo de arribo. Se probaron cuatro criterios de selección del tiempo de arribo definitivo entre esas cuatro ondículas; se eligió el criterio de tiempo menor para la onda P y el de promedio de los cuatro tiempos para la onda S. El método fue aplicado en 140 sismos de magnitud pequeña ($0 < M < 2.5$), distancias epicentrales menores a 70 km y profundidades focales menores a 25 km, registrados en el valle de Ojos Negros, Baja California. Los resultados tienen errores menores a una décima de segundo en más del 97% de los sismogramas, para la onda P; y en más del 87% para la onda S; lo que representa una mejora respecto a los métodos automáticos publicados hasta ahora. Los errores fueron calculados respecto a los tiempos de arribo leídos en pantalla, con cursores de resolución igual al intervalo de muestreo (0.005 s), en cinco ocasiones diferentes, por cuatro lecturistas. Los errores tienen un rango similar a la dispersión de los cinco conjuntos de tiempos leídos. El procedimiento se aplica en una computadora personal y requiere como única intervención del usuario el proporcionar los nombres de los sismogramas. En una PC de 500 Mhz el procedimiento tarda menos de 10 segundos en determinar los tiempos de arribo de P y S para cada sismograma.

Palabras claves: Transformada ondicular, arribos P y S, lectura automática de sismogramas.

SIS-12

SIS-11

**COSEISMIC AND POSTSEISMIC STRESS CHANGES
IN THE SUBDUCTING COCOS PLATE: POSSIBLE
STRESS INTERACTIONS BETWEEN LARGE
INTERPLATE THRUST AND INTRAPLATE
NORMAL-FAULTING EARTHQUAKES**

Takeshi Mikumo¹, Yuji Yagi², Shri Krishna Singh¹ and Miguel A. Santoyo¹

¹ Instituto de Geofísica, UNAM

² ERI, University of Tokyo, Japan

A large intraplate, normal-faulting earthquake ($M_w=7.5$) occurred in 1999 in the subducting Cocos plate below the downdip edge of the ruptured thrust fault of the 1978 Oaxaca, Mexico earthquake ($M_w=7.8$). This situation is similar to the previous case of the 1997 normal-faulting event ($M_w=7.1$) that occurred beneath the rupture area of the 1985 Michoacan, Mexico earthquake ($M_w=8.1$). We investigate if there is any possible stress interactions between the preceding 1978 thrust and the following 1999 normal-faulting earthquakes. For this purpose, we estimate the temporal change of the stress state in the subducting Cocos plate, by calculating the slip distribution during the 1978 earthquake through teleseismic waveform inversion, the dynamic rupture process and the resultant coseismic stress change, together with the postseismic stress variations due to plate convergence and viscoelastic relaxation process. To do this, we calculate the coseismic and postseismic changes of all stress components in a 3D space incorporating the subducting slab, the overlying crust and uppermost mantle and the asthenosphere. For the coseismic stress change, we solve elastodynamic equations, incorporating the kinematic fault slip as observational constraints under appropriate boundary conditions. To estimate postseismic stress accumulations due to plate convergence, a virtual backward slip is imposed to lock the main thrust zone. The effects of viscoelastic stress relaxations of the coseismic change and the back-slip are also included.

The maximum coseismic increase in the shear stress and the Coulomb failure stress below the downdip edge of the 1978 thrust fault is estimated to be in the range between 0.5 and 1.5 MPa, and the 1999 normal-faulting earthquake was found to take place in this zone of stress increase. The postseismic variations during 21 years after the 1978 event modify the magnitude and patterns of the coseismic stress change to some extent, but are not large enough to overcome the coseismic change. These results suggest that the coseismic stress increase due to the 1978 thrust earthquake may have enhanced the chance of occurrence of the 1999 normal-faulting event in the subducting plate. If this is the case, one of the possible mechanisms could be static fatigue of rock materials around pre-existing weak planes involved in the subducting plate, and it is speculated that that one of these planes might have been reactivated and fractured due to stress corrosion cracking under the applied stress there for 21 years.

**DOES STRESS DROP OF INTRAPLATE
EARTHQUAKES OF MEXICO INCREASE WITH
SEISMIC MOMENT?**

S.K. Singh¹, D. García², J.F. Pacheco¹, M. Ordaz³ and M. Herrraíz²

¹ Instituto de Geofísica, UNAM, México

² Depto. de Geofísica y Meteorología, UCM, España

³ Instituto de Ingeniería, UNAM, México

E-mail: krishna@ollin.igeofcu.unam.mx

Recently, Garcia et al. (2001) have reported that dependence of A_{max} on M_w and R for Mexican intraplate earthquakes is given by

$$\log A_{max} = -0.357 + 0.645 M_w - \log R - 0.0030 R \quad (1)$$

where, A_{max} is in gal and R is the hypocentral distance in km. The data set consists of 11 earthquakes, $5.8 \leq M_w \leq 7.4$, $35 \leq H \leq 75$ km, recorded at $40 \leq R \leq 600$ km. The corresponding relation for interplate Mexican earthquakes is (Ordaz *et al.*, 1989):

$$\log A_{max} = 1.760 + 0.300 M_w - \log R - 0.0031 R \quad (2)$$

We note that the attenuation with distance is the nearly the same for both type of earthquakes. The scaling with M_w , however, is radically different; A_{max} of inslab earthquakes has a much stronger dependence on M_w . For an ω^2 source model, with $Q=300$ and high-frequency cutoff at 15 Hz, the application of random vibration theory gives the following scaling of A_{max} with M_w (Boore, 1983):

$$\log (A_{max}) \sim 0.31 M_w + 0.80 \log \Delta\sigma \quad (3)$$

The scaling of A_{max} with M_w for interplate events is in agreement with constant $\Delta\sigma$. However, the scaling of A_{max} with M_w for intraplate earthquakes, would require that $\Delta\sigma \propto M_0^{0.28}$. This scaling is similar to the scaling one proposed by Nuttli (1983) for mid-plate earthquakes. Recently, Izutani and Kanamori (2001) suggest $M_0 \propto f_c^{-3/(1-\alpha)}$, where f_c is the corner frequency and $\alpha > 1$, implying that $\Delta\sigma$ increases with M_0 . Both from the point of view of seismic hazard estimation and the physics of the earthquake source process, it is very important to know if the scaling of $\Delta\sigma$ with M_0 implied by equation (1) is indeed true or if it is a consequence of some bias in the data or in the analysis technique. To resolve this important issue, we (a) take a careful look at the data set, (b) study the high-frequency level of the source acceleration spectra of the intraplate earthquakes, retrieved from (i) local and regional data and (ii) teleseismic data, and (c) investigate M_w and m_b relationship.

SIS-13

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA FUENTE DEL SISMO DE LA CUENCA DEL RÍO BALSAS (22/05/97, MW= 6.5) USANDO REGISTROS DE MOVIMIENTOS FUERTES

Bruno Hernandez, Arturo Iglesias, S.K. Singh y Javier F. Pacheco
Instituto de Geofísica, UNAM

El análisis de la fuente sísmica (localización, geometría y cinemática) es importante en la determinación de los esfuerzos de una región dada y permite entender de mejor manera la tectónica regional. Con este objetivo y utilizando datos de las redes de movimientos fuertes del Instituto de Ingeniería (UNAM) y de banda ancha del SSN, se relocalizó el hipocentro del sismo de la cuenca del río Balsas del 22 de mayo de 1997 utilizando los tiempos de arribo de ondas P y S además del azimut de procedencia. La localización del hipocentro (18.429°N , 101.817°W , profundidad= 72.3 km) indica una ruptura al interior de la placa subducida de Cocos y la solución del tensor de momentos muestra un mecanismo de fallamiento normal que poco difiere del obtenido por Harvard (strike1= 280° , dip1= 63° , rake1= -89° , strike2= 96° , dip= 27° , rake2= -93°).

En las formas de onda se observa que este sismo puede estar asociado a una fuente compleja. Dicha complejidad puede provenir de efectos de directividad y de presencia de subeventos. Por esta razón se requiere un análisis cinemático de la forma de onda que considere la propagación espacio-temporal de la ruptura sobre una falla extendida. Este análisis también permite determinar cual de los dos planos nodales (solución del mecanismo focal) fue en realidad el plano donde ocurrió la ruptura.

El método propuesto, para reconstruir la cinemática de la fuente, se basa en considerar ambos planos de falla y dividirlos en celdas, para cada una de las cuales, se calculan funciones de transferencia hasta cada estación. Posteriormente se determina, a través de un proceso de inversión (local o global), el deslizamiento y el tiempo de ruptura asociado a cada celda. Los análisis del ajuste y de la unicidad de la solución permiten escoger un escenario sobre otros. Este método puede ser usado de manera sistemática en el estudio de otros sismos de la región para determinar el estado de esfuerzos de la misma.

SIS-14

INVERSIÓN DE PARÁMETROS CINEMÁTICOS DE LA FUENTE DEL SISMO DE COLIMA-JALISCO, 1995: NUEVOS RESULTADOS INTEGRANDO DIVERSAS OBSERVACIONES

Arturo Iglesias, S.K. Singh, J.F. Pacheco, Bruno Hernandez, R. Bernal y Y. Yagi
Instituto de Geofísica, UNAM

El proceso de ruptura del sismo de Colima-Jalisco de 1995 (Mw=8.0) aún no es del todo claro. Si bien la mayoría de los trabajos coinciden en una dirección de la ruptura hacia el NW, la localización de la zona donde ocurrieron los máximos deslizamientos aún es incierta. Melbourne et al. (1997), determinaron un modelo de dislocaciones a partir de la inversión de datos de GPS (desplazamiento cosísmico), el cual indica que los

principales deslizamientos sobre el plano de falla deberían estar localizados más cerca de la línea de costa que de la trinchera. Por otro lado Mendoza y Hartzell (1999) invirtiendo registros telesísmicos determinaron que las dislocaciones deberían estar concentradas en la parte más somera del plano de falla, muy cerca de la trinchera. R. Bernal (2000), invirtiendo registros regionales, determinó la historia de la ruptura en donde es posible observar una propagación de ésta en la dirección de la trinchera. Ortiz et al. (2000) analizaron las señales de dos mareógrafos y un sensor de presión y determinaron que el deslizamiento sobre el plano de falla es de 2 ó 3 veces menor frente a Manzanillo que a Navidad, y sugieren la necesidad de incorporar estos datos, a los antes estudiados, en una nueva inversión de los deslizamientos sobre el plano de falla. Con este objetivo, en este trabajo, se llevo a cabo una inversión simultánea de los datos de GPS, mareógrafos y registros telesísmicos, siguiendo el esquema propuesto por Yagi y Kikuchi (2000). Los resultados de la inversión muestran que efectivamente es necesario incluir varias fuentes de datos para acotar el problema y obtener una solución consistente.

SIS-15

ANÁLISIS TELESÍSMICO DE LOS SISMOS OCURRIDOS EN EL SALVADOR EN ENERO-FEBRERO DE 2001

Juan Martín Gómez y Marco Guzmán Speziale
Unidad de Investigación en Ciencias de la Tierra, UNAM

Durante enero y febrero de 2001 ocurrió una serie de eventos sísmicos frente a las costas de El Salvador y en el continente. El sismo más grande de tipo normal (Mw 7.7) ocurrió el 13 de enero a una profundidad cercana a 50 km, la duración de la ruptura fue mayor a 45 s. La distribución de réplicas fue sobre un área muy pequeña respecto a la magnitud del evento, lo cual coincide con la ausencia de directividad. Sin embargo, la duración del evento es lo suficientemente larga como para que dicho efecto directivo estuviera presente. Un mes después (13/02/2001) ocurrió otro evento (Mw 6.6), preponderantemente de falla transcurrente, para el que tanto la localización CMT de Harvard, como su profundidad y sus características geométricas hacen evidente que no es una réplica del primero. La ocurrencia de ambos eventos y su solución de plano de falla coinciden mucho con un par de eventos muy similares ocurridos en 1986 prácticamente en la misma zona. Analizamos individualmente el tipo de ruptura de los eventos del 2001 y determinamos su distribución espacio-temporal. Discutimos la posibilidad de establecer si existe alguna relación sismogénica entre ambos pares de eventos que explique una posible tasa de recurrencia y si el evento mayor más cercano a la trinchera podría haber inducido al evento más pequeño ocurrido en la corteza continental. La similitud geométrica y espacial con respecto a los eventos ocurridos en 1986 muestra que cada evento corresponde en su zona a un modo de ruptura particular. Queda la duda si la cantidad de datos disponibles son suficientes para verificar si esta secuencia espacial de eventos tiene algún patrón de recurrencia temporal entre ellos.

SIS-16

MEDICIONES DE LA ANISOTROPIA DEBAJO DE MEXICO USANDO ONDAS SKS Y SKKS

Raúl Valenzuela Wong, Jeremías Basurto García y José Antonio Lozada Pérez
Instituto de Geofísica, UNAM

Se obtuvieron valores de anisotropía utilizando las dos componentes horizontales de los registros de ondas SKS y SKKS. En caso de que exista anisotropía debajo de la estación, la onda llegará primero en una de las dos componentes. La diferencia en los tiempos de llegada de la onda entre una componente y la otra se conoce como tiempo de retardo (dt). A la dirección en que viaja la onda con una velocidad mayor se le denomina dirección de polarización de máxima velocidad (fi), mientras que la dirección de polarización de mínima velocidad es perpendicular a ésta. En estudios anteriores se ha demostrado que el episodio tectónico más reciente en una región produce anisotropía en el manto superior y consecuentemente determina la orientación de fi. En ausencia de eventos tectónicos, la anisotropía viene determinada por la dirección del movimiento absoluto de las placas.

Para realizar el análisis se seleccionan las dos componentes horizontales con el segmento de registro que contiene a la onda de interés. A continuación se explora el espacio de posibles soluciones por medio de incrementos de 1 grado en la dirección de polarización de máxima velocidad, dejando variar el valor de fi entre 0 y 180 grados. Más explícitamente, para cada incremento se hace la rotación de ejes coordenados y se calculan la autocorrelación y la correlación cruzada de los dos registros. Por cada valor de fi que se prueba, se explora también el espacio de tiempos de retardo (para valores plausibles) en incrementos de 0.05 seg. Se calculan los valores característicos que corresponden a cada incremento de dt y fi. Los valores de dt y fi que arrojan el menor valor característico cuantifican la anisotropía. Para verificar el resultado obtenido se aplica una corrección con valor de dt y fi a los registros originales sin rotar. En caso de que la interpretación sea correcta, la desaparición de la anisotropía es evidente ya que se elimina la energía de SKS y SKKS que había "invadido" a la componente transversal. Consecuentemente, al graficar los desplazamientos de las dos componentes se observa una polarización lineal.

Presentamos los resultados obtenidos al analizar los sismos del 16 de mayo de 1998 al sur de Fiji, del 8 de abril de 1999 en la zona de subducción de Japón y del 17 de agosto de 1999 en Turquía. Los registros provienen de la red de banda ancha del Servicio Sismológico Nacional. Hasta ahora se han estudiado registros de las estaciones CJIG, LVIG, MAIG, OXIG, PPIG, TUIG y YAIG, los cuales arrojan valores de dt entre 0.55 y 1.30 s.

SIS-17

ANÁLISIS DE LA SISMICIDAD EN EL BLOQUE DE JALISCO

F. Núñez-Cornú, M. Rutz, F.A. Nava, G. Reyes-Dávila, C. Suárez-Plascencia
SisVOc, Universidad de Guadalajara

Estudios de microsismicidad se llevaron a cabo entre 1996 y 1999 en la región del Bloque de Jalisco utilizando estaciones sísmicas digitales portátiles (Mars 88 con sismómetros Le3D 1Hz). El análisis de estos datos ha permitido una primera caracterización

de tres zonas sismogénicas en la región: La primera de ellas al este de la Trinchería Mesoamericana, asociada con la interacción del Bloque de Jalisco con la subducción de la Placa de Rivera la cuál se caracteriza como una Zona Sísmica Doble (Double Seismic Zone) con sismicidad interplaca y sismicidad intraplaca en el "slab". Esto sugiere la posibilidad de ocurrencia de grandes terremotos "intraslab" en la Placa de Rivera como han ocurrido en la Placa de Cocos; los datos disponibles no son suficientes para proponer un modelo de la morfología de la Placa de Rivera pero sugieren que esta doblada y posiblemente una subducción oblicua. La segunda zona corresponde al área de Bahía de Banderas (BB) donde se observan dos tipos de sismicidad: una superficial 0 a 10 km aparentemente asociada a rasgos estructurales en la corteza continental, y otra con profundidades de 10 a 35 km probablemente asociada con la interacción y/o límites de la Placa de Rivera y el Bloque de Jalisco. La tercera zona se caracteriza por una sismicidad con profundidades de 1 a 35 km en la placa continental, y esta ubicada en la región de Amatlán de Cañas y Ameca (ACA) presenta dos alineamientos principales uno que sugiere una falla activa a lo largo de los "semigrabens" de Ameca y Amatlan, el segundo en dirección a la costa. Una correlación de las zonas ACA y BB así como los registros en las estaciones cercanas a la costa de los eventos en ACA sugieren una fuerte discontinuidad en la corteza al norte de la cota 20°60'. Una comparación de nuestros resultados con los reportes del SSN muestra que el SSN solo reporta el 55% de los eventos que ocurren en esta región y para los cuales tiene capacidad de detección, así mismo las diferencias en localización son diferentes para cada una de las zonas propuestas y llegan a ser hasta del orden de 127 km en distancia y 90 km en profundidad. Es de llamar la atención para los eventos en ACA nuestros resultados muestran una sismicidad en la placa continental mientras que los del SSN sugieren actividad en la zona de Benioff.

SIS-18

REDES LOCALES SÍSMICAS EN EL NORTE DE BAJA CALIFORNIA: AVANCES EN LA INTERPRETACIÓN DE DATOS

Frez, J., J. Acosta, A. Nava, J. González, S. Alvarez, G. Arellano, J. Carlos, R. García, I. Méndez, F. Farfán, L. Orozco y O. Gálvez.
Depto. de Sismología, CICESE
E-mail: jofrez@cicese.mx

Desde 1997, hemos registrado la actividad sísmica del norte de Baja California con redes locales (15 a 30 estaciones Reftek; período corto; tres componentes, grabación digital), en períodos de uno a cuatro meses por año. El propósito inmediato de la investigación es determinar con precisión y exactitud las características de la actividad microsísmica (parámetros hipocentrales, de mecanismos focales y estadísticos), la estructura sísmica y la respuesta de suelos en sitios de importancia para la ingeniería sísmica.

Detalles relacionados con el cubrimiento espacial y temporal de las redes, así como del registro y manipulación digital de los datos para formar las bases electrónicas correspondientes son descritos en otra presentación. En ésta, resumimos los resultados acumulados para el Valle de Mexicali, el sistema San Miguel (incluyendo el Valle de Ojos Negros), parte de la falla Sierra Juárez y una franja de actividad que une el extremo activo NW del sistema San Miguel con la costa del Pacífico, al N de Ensenada. Al mismo tiempo, entregamos algunos adelantos para otras dos regiones cuyos

datos están en proceso primario de análisis. Aquí, resumimos la distribución de los parámetros de los mecanismos focales, en particular de los ejes P y T, y utilizamos los sismos con $ML > 3.0$ para inferir aspectos de la estructura sísmica, específicamente a lo largo de la Sierra Peninsular.

Los máximos globales de la distribución de los ejes P y T sigue, con variaciones menores, un patrón regional consistente con el movimiento relativo de las placas Pacífico y de Norteamérica; el trabajo de detalle consiste en determinar la significación de las variaciones para cada área de estudio así como de los máximos locales encontrados. Buscamos determinar la sismotectónica de la actividad asociada al Valle de Ojos Negros (con régimen extensivo), así como de la franja de actividad sísmica ya mencionada y de la ortogonalidad de algunos alineamientos sísmicos encontrados en la región.

SIS-19

UNA VISIÓN GENERAL DEL CATÁLOGO SÍSMICO DE RESNOM

F. Ramón Zúñiga D.M. y Raúl R. Castro E.
UNICIT, Instituto de Geofísica, UNAM
CICESE

Un catálogo sísmico es el resultado de muchos años de esfuerzo dirigidos a la instrumentación, mantenimiento, compilación y depuración de datos de sismicidad de una o varias regiones. En muchas ocasiones, los datos de los catálogos nos hablan de las aportaciones de un grupo de personas que han dedicado su tiempo a proporcionar una base de información confiable que finalmente resulta invaluable para estudios posteriores. Sin embargo, es común que durante el tiempo transcurrido en el proceso de compilación de los datos de sismicidad, ocurran cambios en la operación de la(s) red (es), o bien cambios en la forma de determinar los parámetros básicos de los eventos sísmicos, u otras situaciones, los cuales redundan en variaciones en la sismicidad reproducida con base en los datos del catálogo.

Para poder contar con una idea general de los alcances del catálogo sísmico de la Red Sísmica del Noroeste de México (RESNOM), el cual es compilado cotidianamente por el grupo de Sismología adscrito al CICESE, hemos efectuado un análisis objetivo preliminar en dichos datos. El catálogo incluye más de 10,000 eventos compilados a partir de 1976. Nuestros resultados indican que la magnitud mínima para reportar completamente, ha sufrido variaciones desde el inicio de compilación, pero manteniéndose entre los 2.6 y 2.0 grados en promedio. Existen algunos períodos, incluso, cuando dicha magnitud llegó a 1.8. Una magnitud mínima global para todo el período que abarca el catálogo, se puede tomar como 2.4. En cuanto a los períodos de reporte constante, es posible dividir la historia del catálogo en al menos tres intervalos. Las fechas preliminares que limitan dichos períodos son pre-1988, 1988-1994, 1994-actualmente.

Se discuten las variaciones espaciales en magnitud mínima, así como otros parámetros de importancia para los estudios de sismicidad del Noroeste de México.

SIS-20

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE TRENES DE ONDAS COMPLICADOS OBSERVADOS EN SISMOS OCURRIDOS EN EL SISTEMA DE FALLAS SAN MIGUEL, B.C. MÉX.

Rosalía García-Arthur, A. Nava, J. Frez, J. Acosta y J.J. González
Depto. de Sismología, CICESE

Se presentan resultados del análisis de sismogramas digitales obtenidos por una red local instalada de mayo a septiembre de 1998 en el sistema de fallas San Miguel, una de las regiones sísmicamente más activas del norte de Baja California.

La red sísmica estuvo compuesta por 30 estaciones digitales Ref Tek de 3 componentes y cubrió un área de 80 x 40 km.

Se analizaron 70 sismos locales con profundidades menores a 15 km. y registrados en 30 estaciones. De estos 70 eventos, se escogieron 360 sismogramas que presentan una fase previa a la onda Pg, caracterizada por una mayor amplitud y, en muchos casos, con diferentes contenidos de frecuencias.

Se estudia la dependencia, aparición y características de esta fase con respecto a la profundidad del foco, el azimut y la distancia epicentral. También se exploran los posibles mecanismos que pueden dar lugar a esta fase.

SIS-21

AN APPROACH TO ESTIMATING SHEAR-WAVE ATTENUATION FROM POLARIZATION ANALYSIS

T.I. Chichinina¹ and I.R. Obolentseva²

¹ Proyecto D. 1341 YNF, Instituto Mexicano del Petróleo
Eje Central Lázaro Cárdenas No. 152, México, D.F., 07730,
México

² Institute of Geophysics, Siberian Branch of RAS, Koptyug pr.
3, 630090, Novosibirsk, Russia

Let two plane harmonic shear waves $\mathbf{u}(t) = u_0 \mathbf{A} \exp[i\omega(z/V_s - t)]$ with circular polarizations of opposite sign $\mathbf{A}_1 = (1/\sqrt{2})(\mathbf{e}_1 + i\mathbf{e}_2)$, $\mathbf{A}_2 = (1/\sqrt{2})(\mathbf{e}_1 - i\mathbf{e}_2)$ and closely related velocities $V_{s_1} = V_0 + a - ib$, $V_{s_2} = V_0 - a - ib$ ($a \ll V_0$) propagate along z -direction from $z = z_1$ to $z = z_2$, $z_2 - z_1 = h$. If $a \neq 0$, attenuation of the two shear waves due to $b \neq 0$ is not the same: attenuation coefficient $\beta_1 = \omega b / [(V_0 + a)^2 + b^2]$ is less than attenuation coefficient $\beta_2 = \omega b / [(V_0 - a)^2 + b^2]$. The sum of oscillations $\mathbf{u}_1(t)$ and $\mathbf{u}_2(t)$ represents an ellipse with axes A and B ($A > B$) which "turns" as the wave $\mathbf{u}_1(t) + \mathbf{u}_2(t)$ propagates.

The ratios of amplitudes and phase differences of the two circular oscillations $E_{1,2} = \exp(-\omega h b_{1,2})$, $\phi_{1,2} = \omega h a_{1,2}$, where $a_{1,2} = (V_0 \pm a) / V_{s_{1,2}}^2$, $b_{1,2} = b / V_{s_{1,2}}^2$, provide the following system of equations:

$$\exp[-\omega h(b_1 - b_2)] = (1+B/A)/(1-B/A)$$

$$\omega h(a_2 - a_1) = 2 \left| \kappa \right|, \quad (a_2 > a_1).$$

Knowing ellipse parameters — a turn angle κ and a ratio of axes B/A — at different frequencies ω , one can find the parameters $a(\omega)$, $b(\omega)$ characterizing the velocities $V_{s_{1,2}} = V_0 \pm a - ib$. The imaginary part of the velocities V_{s_1} and V_{s_2} describes attenuation.

The above method of estimating attenuation started from an assumption that the medium is a gyrotropic one. The concept of seismic gyrotropy [1,2] is based on numerous experimental data received with uses of shear and converted waves over the 1960-1990 in the former USSR and other countries. Estimations of gyration and attenuation constants have been made for sand-clay sediments in the upper part of the underground at frequencies from 20 up to 500 Hz. The values of $a/V_0(\omega)$ occurred to be in the limits of 0.1 – 3% whereas the values b/V_0 were many times greater than $a/V_0(\omega)$ [1,3].

If a medium does not possess gyrotropic properties (no preferred left or right orientations of thin layers, etc.), “gyrotropy” may be made artificially in the source, for example, by a vibrator with two eccentric

masses rotating in opposite directions with differing amplitudes and phases.

References:

- Obolentseva, I.R. On seismic gyrotropy. *Geophys. J. Int.*, 1996, 124, N 2, 415—426.
- Obolentseva, I.R., and Chichinina, T.I. Seismic gyrotropy and its physical reasons. *Russian Geology and Geophysics*, 1997, 38, N 5, 1038—1053.
- Obolentseva, I.R., Nefedkin, Yu. A., Krylov, D.V. Gyrotropic properties of shallowest sand-clay sediments, as determined from acoustic measurements in boreholes. *Russian Geology and Geophysics*, 2000, 41, N 10, 1454—1474.

SIS-22

CARACTERÍSTICAS ESPACIO-TEMPORALES DE LA ATENUACION SISMICA EN LA REGION CENTRAL DE ITALIA

Raúl R. Castro¹, Giancarlo Monachesi², Luca Trojani², Marco Mucciarelli³, Massimo Frapiccini²

¹ Depto. de Sismología, CICESE, México

² Osservatorio Geofisico Sperimentale di Macerata, Italia

³ Università della Basilicata, Italia

Estudiamos las características espacio-temporales de la atenuación sísmica en la región central de Italia usando ondas S y de coda registradas por la red sísmica de la Marche generadas por temblores localizados en el área epicentral de la secuencia Umbria-Marche de 1997.

Determinamos el decaimiento de las amplitudes espectrales con la distancia calculando funciones empíricas de atenuación para 15 frecuencias entre 1 y 25 Hz. Analizamos separadamente premonitores y réplicas de la secuencia y encontramos el mismo decaimiento espectral. Este resultado sugiere que cualquier posible variación temporal de la atenuación sísmica, entre la ocurrencia de los eventos principales, pudo estar confinado en una área pequeña.

También encontramos que la dependencia del factor de calidad Q de las ondas S con la frecuencia puede aproximarse con la relación, $Q_s = 18 \cdot f^{2.0}$ entre 1 y 10 Hz. Para frecuencias más altas (10-25 Hz), la dependencia de Q_s con la frecuencia se debilita, tomando un valor promedio, aproximadamente constante, de $Q_s = 990$.

Para el lado oeste de la cadena montañosa de los Apeninos el valor de Q, determinado usando ondas de coda y modelos de dispersión simple (Aki y Chouet, 1975; Sato, 1977), puede aproximarse con la relación $Q_c = 77 \cdot f^{0.6}$ (entre 2-20 Hz). Esta relación es consistente con estimaciones previas de Q_c reportadas para la región central de los Apeninos. Para un volumen de muestreo que incluye la cuenca de Colfiorito, los Apeninos y la región de la Marche, encontramos que $Q_c = 55 \cdot f^{0.8}$. Estos resultados indican la posible presencia de una zona de alta atenuación bajo la cadena de montañas.

Para detectar los posibles cambios temporales de Q, calculamos cocientes espectrales de 5 dobletes temporales localizados en el área epicentral de la secuencia y registrados en estaciones cercanas. Encontramos cambios temporales de Q que varían de 27% a 56%, dependiendo de la localización de los dobletes. Esta variabilidad sugiere que los cambios temporales de la atenuación depende de la variación espacial de Q y posiblemente también de la distribución espacial del esfuerzo tectónico en el área epicentral.

SIS-23

LEY DE ATENUACIÓN PARA SISMOS INTRAPLACA EN MÉXICO

D. García¹, S.K. Singh², M. Ordaz³, M. Herráiz¹ y J.F. Pacheco²

¹ Depto. de Geofísica y Meteorología, UCM, España

² Instituto de Geofísica, UNAM, México

³ Instituto de Ingeniería, UNAM, México

E-mail: danielg@eucmos.sim.ucm.es

En este trabajo se establece, a partir del análisis de movimientos fuertes, una ley de atenuación para los terremotos intraplaca de mecanismo normal de México en un rango de distancias hipocentrales desde los 40 hasta los 600 Km. En el desarrollo de este estudio se han empleado 235 registros de aceleración de 11 terremotos intraplaca de mecanismo normal, con magnitudes M_w entre 5.8 y 7.4, que tuvieron lugar en la región centro meridional de México entre 1994 y 2000 (profundidad entre 35 y 75 km). Para la aceleración máxima, $A_{máx}$, la expresión obtenida es:

$$\log A_{máx} = -0.357 + 0.645 \cdot M_w - \log R - 0.0030 \cdot R \quad (1)$$

En comparación, la ley deducida para eventos interplaca (Ordaz, Jara y Singh, 1989) es dada por:

$$\log A_{máx} = 1.760 + 0.300 \cdot M_w - \log R - 0.0031 \cdot R \quad (2)$$

Comparando (1) y (2) se observa que los términos que dependen de R son iguales, pero que la dependencia con M_w es notablemente mayor en el caso de los temblores intraplaca. Este resultado es de gran importancia para la estimación de peligro sísmico y sugiere aumento de la caída de esfuerzo con momento sísmico para temblores intraplaca: $\Delta\sigma \propto M_0^{1/4}$ (ver Singh et al., resumen, este número).

A partir de la amplitud espectral de los terremotos intraplaca en México se ha determinado la dependencia del factor de calidad con la frecuencia ($0.1 \leq f \leq 18 \text{ Hz}$) dada por la expresión: $Q(f) = 276 \cdot f^{0.37}$. Este resultado es muy similar al obtenido para los terremotos interplaca en la región, $Q(f) = 273 \cdot f^{0.66}$ (Ordaz y Singh, 1992), por lo que puede afirmarse que la atenuación anelástica para ambas clases de eventos es análoga.

SIS-24

AMPLIFICACIÓN DE ONDAS SÍSMICAS EN LA CIUDAD DE PUEBLA

A.E. Posada Sánchez¹, G.J. González Pomposo¹, L. Alcántara Nolasco², A. Rodríguez Olayo¹, J. Jiménez Barroso¹ y R. De La Luz Santacruz¹

¹ Facultad de Ingeniería, BUAP

² Instituto de Ingeniería, UNAM

La ciudad de Puebla cuenta actualmente con una red de 10 acelerógrafos operando de manera continua. Estos equipos corresponden al trabajo conjunto del Instituto de Ingeniería de la UNAM y la Facultad de Ingeniería de la BUAP. Las estaciones que conforman la Red de Acelerógrafos de la ciudad de Puebla (RACP) se encuentran distribuidas en diferentes tipo de suelo y debido a ello han presentado distinto comportamiento ante cada uno de los sismos registrados desde 1987 a la fecha. El número de eventos correspondiente a cada una de las estaciones difiere debido a las características de operación, entre las que destaca el hecho de que las marcas y modelos de los equipos son distintos, así como que el rango de los sensores y el tiempo de operación de cada una de ellas es también diferente. A lo largo de 14 años la RACP ha permanecido en operación, razón por la que se han registrado eventos procedentes tanto de la zona de subducción del Sur de nuestro país como del interior del continente, entre los que destaca por su proximidad a la ciudad el del 15 de junio de 1999. En la actualidad se han registrado 44 eventos con magnitudes entre 4.0 y 7.5 grados en la escala de Richter y con distancias de 14 a 630 Km con respecto a la ciudad de Puebla. Los registros obtenidos para cada una de las estaciones se han estudiado mediante análisis espectral de Fourier, comparando los resultados correspondientes a las componentes horizontales contra la vertical mediante razones espectrales en el dominio de la frecuencia para cada una de los eventos registrados. Posteriormente se compararon todos los registros correspondientes a una misma estación y se trazó una envolvente en el rango de frecuencias en que esto fue posible, debido a que en algunos rangos de frecuencia el comportamiento no fue concordante para los distintos eventos. Con este banco de información ha sido posible calcular la amplificación en los distintos puntos instrumentados de la ciudad, determinándose factores de amplificación de las componentes horizontales con respecto a la vertical del orden de 17 veces. En el caso particular de la estación de Barranca Honda (BHPP) las razones espectrales obtenidas difieren significativamente para los distintos eventos analizados, lo cual se asocia a que se trata de una estación construida sobre roca (aunque está subyacente por toba) con lo que la variación puede atribuirse a características de fuente y trayectoria, no así de sitio. La estación que presenta mayores amplificaciones en la componente Norte-Sur es Parque Habana (PHPU), con valores máximos de 17, en el rango de frecuencias de 0.7 a 2.0 Hz aproximadamente y en la componente Este-Oeste es la estación de Central de Abasto (CAPP), con valores máximos de 11 veces entre las frecuencias de 0.5 a 1.0 Hz. Las características de estos puntos

en cuanto a amplificación se relacionan con el tipo de suelos que corresponde a suelos friccionantes en la estación de PHPU y a rellenos sobre basaltos en CAPP. Las estaciones de San Alejandro (SAPP) y Río San Francisco (RFPP) no han registrado ningún evento a partir de su instalación a finales de 1999, razón por la cual no aparecen en este estudio, sin embargo por sus características se espera que presenten factores de amplificación importante ante la ocurrencia de próximos sismos.

SIS-25

EL MOVIMIENTO OBSERVADO EN EL VALLE DE MÉXICO. RESULTADOS A PARTIR DE REGISTROS DE MOVIMIENTOS FUERTES

Martín Cárdenas Soto¹ y Francisco J. Chávez-García²

¹ Facultad de Ingeniería, DICT, Geofísica, UNAM

² Instituto de Ingeniería, Coordinación de Ingeniería Sismológica, UNAM

E-mail: martinc@servidor.unam.mx

La respuesta sísmica de la zona de lago de la ciudad de México es estudiada mediante registros de movimientos fuertes de un arreglo 5 estaciones acelerométricas (tres en superficie y dos en pozo) localizado en la colonia Roma. El análisis de los datos se realiza en los dominios del tiempo y la frecuencia. Se compara la respuesta sísmica en sitios de la zona de lomas con respecto al movimiento registrado el substrato de la cuenca. Esta comparación muestra que no existe diferencia entre el movimiento registrado en ambos sitios, es decir se trata del mismo campo incidente. El análisis de los registros filtrados alrededor de varios periodos (1 a 10 s) muestra que para periodos mayores que el periodo del sitio, T_0 , el movimiento del suelo en todas las estaciones es similar. En periodos cercanos a T_0 no existe similitud en la forma de onda entre los registros de las diferentes estaciones, tanto de superficie como en profundidad. Se observa que los pulsos monocromáticos asociados con la duración del movimiento en la Valle de México dominan la amplitud del registro en periodos cercanos a T_0 . Estos trenes de onda no se observan en la misma banda de periodo en los registros de las estaciones en pozo. Mediante un análisis de correlación se muestra que la resonancia de los estratos superficiales complica el campo de onda que se registra entre estaciones y entre componentes del movimiento. Este efecto ocurre en periodos cortos y para profundidades menores a 50 m. Posteriormente se determinaron direcciones y velocidades de propagación del campo de onda que cruza el arreglo utilizando las estaciones en superficie. Los resultados muestran que la energía sísmica en periodos largos se propaga coherentemente en la dirección del epicentro al arreglo y ondas que se originan en algún otro límite geológico alrededor del Valle. En periodos cortos la dirección predominante de la energía de propagación es hacia el Este, con una gran dispersión. Las velocidades de fase, para todos los periodos, están en acuerdo con las curvas de dispersión predichas por la estratigrafía bajo el sitio.

SIS-26

EFFECTO DE SITIO EN LA ESTACIÓN SWITCHEO DEL CAMPO GEOTÉRMICO LOS AZUFRES

Julio Cuenca Sánchez, Miguel Rodríguez G. y Jorge Aguirre G.
Instituto de Ingeniería, UNAM

Es importante analizar los escenarios probables a partir de alguna combinación de parámetros que producen daños a causa de efecto de sitio e igualmente conocer las características general de un probable sismo fuerte. Hemos evaluado el efecto de sitio en la estación sísmica llamada SWITCHEO localizada en el extremo norte del Campo Geotérmico Los Azufres, Michoacán, para conocer su frecuencia dominante y estimar la amplificación máxima relativa.

Se utilizaron las trazas digitales registradas por un K2 marca Kinometrics el cual además de tener un sensor interno triaxial en aceleración, se le acopló un sensor externo triaxial L22 en velocidad. Se calculó el cociente espectral usando la técnica de Nakamura (1989) para ambas componentes horizontales EW y NS respecto a la componente Vertical. Esta técnica se aplicó para las trazas de aceleración y de velocidad, en ambos casos usando un sismo localizado a 254 Km. en las costas de Michoacán con una magnitud de 5.1 (fecha 1 de diciembre del 2000, epicentro en 18.1°N y 102.2°W, profundidad 25 Km.). También se calculó el cociente espectral usando el ruido sísmico ambiental para una traza sísmica de velocidad del 17 octubre del 2000 con tiempo de inicio 15:36 TU. Se cubrió con una ventana de análisis a todo el registro del sismo y en el caso del ruido se utilizó una adecuada ventana de 20 segundos.

Se obtiene una frecuencia dominante en 1.9 Hz (0.53 segundos de periodo) con una amplificación máxima (Ar) hasta 14 veces. Luego hay una buena coincidencia en nuestros resultados tanto en frecuencia como en amplificación, usando tres tipos de datos: aceleración, velocidad y ruido en velocidad, con lo cual comprobamos nuestro análisis.

Para analizar el efecto de un sismo fuerte esperado en la estación Switcheo, se han calculado sismogramas sintéticos usando el método de funciones de Green empíricas. Para ello se utilizó el registro de la estación Switcheo del sismo ocurrido el 1-Dic-2000 como función de Green empírica. Las características generales del sismo esperado se han considerado similares a las del sismo de 19 de septiembre de 1985 en la simulación. La aceleración máxima estimada en el sitio es 30 gal.

SIS-27

EFFECTO DE SITIO EN LAS CIUDADES DE ZINAPÉCUARO Y QUERÉNDARO, MICHOACÁN

Julio Cuenca Sanchez, Miguel Rodríguez y Jorge Aguirre González
Instituto de Ingeniería, UNAM

Mediante mediciones puntuales de vibración ambiental realizadas en las ciudades de Zinapécuaro y Queréndaro evaluamos el efecto de sitio sobre el movimiento sísmico del suelo. Siendo el efecto de sitio el de mayor importancia en el diseño de edificaciones, es el factor importante para la mitigación de desastres de terremotos como el de Michoacán (1985), así mismo contribuye

su geología local, su topografía al movimiento sísmico del suelo. Para el estudio se utilizó la técnica de Nakamura. El equipo consistió en un registrador EDA de tres canales y un sensor triaxial de periodo natural $T_0=1$ s. Los sitios medidos incluyen la zona de suelos aluviales de las ciudades variando desde 0.7, a 2 Hz, y de roca donde el cociente espectral se comporta casi plano. Sus periodos corresponden a 1.4, 0.1 y 0.5 segundos respectivamente y amplificaciones máximas relativas entre 3 y 8 veces. Para las dos ciudades se elaboraron mapas de isoperiodos como características básicas del efecto de sitio. También se incluye las amplificaciones máximas relativas. Las construcciones de un piso que abundan en las Ciudades de Queréndaro y Zinapécuaro pueden ser afectadas por periodos resonantes a 0.1 segundos. Daños considerables en esta zona han sido consignados desde la segunda mitad del siglo XIX hasta la fecha. Las fuentes potenciales son la zona de subducción mexicana y los sismos intraplaca (el epicentro del sismo de Acambay de 1912 con magnitud $M_s=6.9$, esta aproximadamente a 120 km). Recientemente se ha localizado sismicidad somera al sur (2 km) de Queréndaro.

SIS-28

AVANCES EN LA ZONIFICACION DEL RIESGO SISMICO EN LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA

Leobardo Lopez Pineda¹, Cecilio Rebollos Bustamante²,
Miriam Dolores Lopez Perez¹ y Roberto Garcia Peralta¹

¹ Carrera de Ingeniero en Geociencias, Centro de Estudios Superiores del Estado de Sonora
² Depto. de Sismología, CICESE

Se presenta un mapa de periodos naturales dominantes del suelo de la zona urbana de Hermosillo, Sonora; limitado por las coordenadas: UTM: 495000 a 510000, 3225000 a 3207500

Para la obtención de los periodos dominantes se utilizó la técnica de Nakamura. La fuente de información fue el ruido sísmico ambiental (microtremores) registrado en una grabadora digital SSR1 conectada a sensores de aceleración con respuesta plana entre 0.05 y 20 Hz El tiempo de observación en cada sitio fue de dos minutos.

Los periodos dominantes son correlacionables con los diferentes tipos de suelos:

- a) Zona próxima a roca firme
- b) Zona intermedia
- c) Zona de arroyos o ríos

Esta información será relevante en la determinación de criterios de riesgo sísmico a considerarse en el reglamento de construcción de la Ciudad de Hermosillo. Asimismo se mostrarán ejemplos de eventos locales registrados en la estación permanente de banda ancha de Hermosillo.

SIS-29

DETERMINACION DE PELIGRO SISMICO MEDIANTE CADENAS DE MARKOV — I

Nava, F., Herrera-Oliva, C., Frez, J. y Glowacka, E.
Depto. de Sismología, CICESE

El *Peligro Sísmico*, i.e. la probabilidad de ocurrencia de un sismo con magnitud y tiempo de ocurrencia en intervalos dados y en determinadas regiones de un área de estudio, se estima mediante la aplicación de Cadenas de Markov al análisis estadístico de la sismicidad reportada en catálogos. El método se aplica a *sistemas* que son áreas geográficas que incluyan varias regiones sismogénicas, y está basado en las premisas:

a) El estado de esfuerzos que determina la ocurrencia de sismos grandes en cada región del sistema durante un intervalo de tiempo está relacionado con la historia sísmica tanto de esa región como de las demás regiones. Sin embargo la actividad sísmica de cada región no está directamente relacionada con alguna de las demás regiones de manera que permita predecir la futura actividad en ella.

b) Cada estado del sistema (definido por la ausencia o presencia de sismicidad en cada una de las regiones) representa el resultado de la historia sísmica. Por tanto, el estado que sigue al actual depende, a través de éste, de la misma historia sísmica que llevó al estado actual y estará determinado, probabilísticamente, por éste.

Durante un intervalo de tiempo específico, cada región tiene uno de dos estados: ausencia (0) ó presencia (1) de sismos con magnitud mayor o igual a una magnitud umbral. El estado total del sistema es un número binario cuyos dígitos corresponden a los estados de las regiones. Para cada intervalo se determina el estado del sistema y se forma una matriz de transiciones a partir de la cual se obtiene la matriz $P_{ij}=P\{j | i\}$ que contiene la probabilidad de ocurrencia del estado j dado que el sistema se encuentra en el estado i .

El método está limitado principalmente por la extensión (y menormente por la exactitud) de los catálogos, y tanto la definición del área y sus regiones como de los parámetros intervalo de tiempo y magnitudes umbral se hacen empíricamente a manera de obtener definición y cobertura óptimas. Se cuantifica la confianza en las probabilidades de transición de cualquier estado, y se compara la distribución de los valores de probabilidad de la matriz con distribuciones sintéticas obtenidas suponiendo probabilidades uniformes.

SIS-30

DETERMINACION DE PELIGRO SISMICO MEDIANTE CADENAS DE MARKOV — II

Herrera-Oliva, C., Nava, F., Frez, J. y Glowacka, E.
Depto. de Sismología, CICESE

La capacidad predictiva del método se evalúa comparando las probabilidades de transición calculadas contra observaciones de sismicidad para un período cerca del final del catálogo. Estrictamente hablando, la ocurrencia de cualquier transición cuya probabilidad sea distinta de cero puede considerarse un éxito predictivo (aunque se trate de una probabilidad pequeñísima) así como la no ocurrencia de una transición cuya probabilidad sea cero,

y estos resultados son estadísticamente significativos, pero consideramos que no son de gran valor práctico. Por tanto, decidimos adoptar un criterio mucho más estricto considerando como éxitos solamente la ocurrencia de estados con probabilidades por encima de la banda $< P_{ij} > + \mu < P_{ij} >$ ($\mu \approx 0.25$), como fracasos la ocurrencia de estados con probabilidades por debajo de dicha banda y la de estados con probabilidades dentro de la banda como indefinida (todas las probabilidades iguales al promedio forman una distribución uniforme que no permite predicción alguna).

A partir de las probabilidades de transición es posible obtener las probabilidades de ocurrencia por región. En este caso los problemas de criterio éxito/fracaso son los mismos descritos anteriormente, pero ante el número mucho menor de regiones que de estados, se decidió utilizar como criterio de predicción únicamente la ocurrencia de sismos en la región (o regiones) con la probabilidad máxima.

El método se aplicó al área de Japón, considerando cuatro regiones: Islas Kuriles ($M \geq 5.3$), Japón Central ($M \geq 5.3$), Islas Ryukyu ($M \geq 4.9$) y Japón Sureste ($M \geq 5.1$). Fue posible obtener estimaciones de peligro para $\Delta t = 1$ mes con un muy significativo índice de aciertos; particularmente exitosa fue la predicción de ocurrencia en la región de máxima probabilidad.

La aplicación del método al área norte de Baja California dio resultados marginales debido a la escasez de datos.

SIS-31

ANÁLISIS DE LA EMISIÓN SÍSMICA EN EL CAMPO GEOTÉRMICO DE TRES VÍRGENES, B.C.S.: FUENTES DE EMISIÓN Y ESTRUCTURA GEOLÓGICA LOCAL

Iván Rolón, Francisco Chávez-García y Miguel Rodríguez
Instituto de Ingeniería, UNAM

La Comisión Federal de Electricidad cuenta al complejo volcánico de Tres Vírgenes, B.C.S., entre los prospectos para desarrollar un proyecto de generación utilizando energía geotérmica. Por ello, este sitio ha sido objeto de varios estudios desde hace casi una década. Estos estudios incluyen monitoreo de la actividad sísmica, perforación de pozos exploratorios y reconocimientos geológicos y geofísicos de la zona.

Como parte de esos estudios, en noviembre de 1999 se instaló una red temporal densa de sismógrafos digitales. Los instrumentos utilizados fueron prestados por el consorcio IRIS-PASSCAL y se contó con la colaboración del CICESE para la realización de las observaciones. La red que se instaló contó con 17 sismógrafos REFTEK, acoplados a sensores triaxiales de 1 Hz de frecuencia propia. Las estaciones se instalaron formando tres semicírculos concéntricos, con radios aproximadamente de 50, 100 y 150 metros, en los que se colocaron 16 de las estaciones, la estación restante se dispuso en el centro del arreglo. El arreglo operó con registro continuo durante un mes, a una cadencia de muestreo de 100 Hz.

La información registrada se analizó de la siguiente manera. Con el fin de determinar aquellas bandas de frecuencia en que era probable observar trenes de onda coherentes se calcularon los periodogramas de las tres componentes de cada estación. Los periodogramas fueron calculados seleccionando ventanas de tiempo de los registros de 20 s, sin traslape entre ellas. Esas ventanas se

extrajeron de los registros usando funciones de Hamming. En la componente vertical de todas las estaciones se observaron picos espectrales entre 10 y 12 Hz, mientras que en las componentes horizontales se observaron picos espectrales en las bandas de 4 a 5 Hz y de 10 a 12 Hz. Desgraciadamente en los espectros FK correspondientes a estas bandas de frecuencia no fue posible detectar ninguna señal debido a fuertes problemas de aliasing espacial pues las velocidades del medio son muy bajas. Sin embargo, en los espectros FK correspondientes a frecuencias menores a 2 Hz sí fue posible detectar señales comunes en el arreglo de estaciones. En el cálculo de los espectros FK se emplearon registros de 1000 segundos. En un primer paso, los espectros FK se calcularon empleando anchos de banda de 0.5 Hz y se analizó la estacionariedad de las señales. Posteriormente, sacrificando la resolución en tiempo en pos de una mayor resolución en frecuencia, se calcularon los espectros FK con anchos de banda de 0.06 Hz cada 0.03 Hz a partir de 0.5 Hz y hasta 2 Hz. A partir de los máximos de los espectros FK se calculó la dirección y velocidad de propagación de las señales detectadas así como sus incertidumbres. Los resultados del análisis consistieron en un mapa detallado de la dirección de propagación de las ondas que atraviesan el arreglo y sus velocidades aparentes. Esto nos permitió determinar las zonas que presentan mayor actividad sísmica. Durante el periodo de registro, esa actividad se concentró en las zonas hacia el NW (N70W y N50W) del arreglo, delimitando los conos más activos del complejo. Las velocidades aparentes muestran una predominancia de ondas superficiales en los registros. Las curvas de dispersión determinadas permitieron determinar la estructura somera de la zona volcánica.

SIS-32

ARPA: ESTRUCTURA SOMERA DE LA VELOCIDAD DE ONDAS S EN EL COMPLEJO VOLCÁNICO DE LAS TRES VÍRGENES, B.C.S.

Miguel Rodríguez, Francisco Chávez-García e Iván Rolón
Instituto de Ingeniería, UNAM

Usando datos del Arreglo Sísmico de Pequeña Abertura (ARPA) instalado en el complejo volcánico de Las Tres Vírgenes durante noviembre-diciembre de 1999 estimamos la estructura somera de la velocidad de ondas S bajo el arreglo utilizando el método de correlación espacial SPAC.

El método fue implantado mediante el siguiente procedimiento: a) Sincronización de los registros y selección de ventanas de 60 segundos. b) Para cada una de estas ventanas filtramos los registros de ruido con dos secuencias de filtros; una de baja resolución con ancho de banda de 0.5 Hz, y una de alta resolución, con ancho de banda inferior a 0.1 Hz. c) Para cada banda de frecuencia calculamos el coeficiente de correlación entre los registros correspondientes a la distancia r y el registro de la estación CENTRO y d) Cálculo del promedio acimutal. El procedimiento anterior se repite para cada ventana, y enseguida calculamos el promedio de los coeficientes de correlación en todas las ventanas y estimamos la desviación típica. Los coeficientes así obtenidos los usamos para estimar los valores de velocidad usando inversión no lineal.

Las curvas de dispersión correspondientes a las distancias de 50 y 150 m son similares entre ellas y comparables con la curva de dispersión obtenida del análisis FK. Estas curvas se usaron para invertir la estructura somera de velocidades con resultados significativos hasta cerca de un km de profundidad.

Espesor [km]	Vp [km/s]	Vs [km/s]
0.038	0.6	0.39
0.204	1.6	1.12
0.697	4.5	2.19
	5.2	3.10

SIS-33

ACTIVIDAD SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS NEOTECTÓNICAS DEL SURESTE DE MÉXICO

Alfredo Cervantes Sánchez

Unidad Académica Multidisciplinaria Agronomía y Ciencias,
Universidad Autónoma de Tamaulipas

El análisis comparativo entre la distribución de los epicentros sísmicos para el periodo 1900-1974, la densidad de los mismos, la intensidad sísmica, el potencial sísmico liberado, la frecuencia hipocentral, la intensidad de desmembración, la densidad de fracturas, y las estructuras neotectónicas (EN) del sureste de México, permite hacer las siguientes consideraciones: a) hay dos tipos de concentración epicentral; de superficie, y lineal, b) las concentraciones de superficie, coinciden con cambios en la orientación e hipsometría de las divisorias principales de las EN, y con zonas de distensión, c) las concentraciones de tipo lineal se ubican a lo largo de zonas de debilidad transversales a la orientación de las EN, d) la estructura neotectónica de mayor actividad sísmica es la Sierra Madre Del Sur y su parte hundida (Planicie Costera del Pacífico); le siguen la plataforma y el talud del Pacífico, la zona de debilidad transcontinental Tehuantepec (ZDTT) en su parte central, e) la relación frecuencia-profundidad de los hipocentros nos muestra que la actividad sísmica de las EN podría estar asociada con dos horizontes sismogénicos, uno en la corteza y otro en la parte superior del manto, f) las configuraciones de las isocistas de intensidad IX y X tienden hacia los límites interestructurales, particularmente entre aquellas EN que tienen un carácter tectónico diferente, g) no hay una congruencia entre las zonas de alta densidad epicentral y aquellas de gran intensidad sísmica, h) en la parte SW de la región occidental hay una zona de alta densidad epicentral en la cual todos los parámetros medidos presentan valores altos. Los resultados obtenidos muestran la importancia fundamental que tienen los estudios de la neoestructura en la comprensión de la dinámica litosférica.

SIS-34

THE SURFACE RUPTURE OF THE 3 MAY 1887 (MW=7.4) SONORA EARTHQUAKE (SOUTHERN BASIN AND RANGE PROVINCE)

Max Suter

Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste, UNAM
Hermosillo, Sonora

North-south striking and west-dipping Basin and Range province normal faults form the western edge of the Sierra Madre Occidental plateau in northeastern Sonora. These faults and associated half-grabens extend over a distance of >300 km between the San Bernardino basin in the north and the Sahuaripa basin in the south. An earthquake in 1887 ruptured three neighboring segments of this major fault zone. The rupture dips 74°W and is composed (from south to north) of the (1) Otates (length $l = 18.9$ km, maximum vertical separation $a = 220$ cm, average vertical

separation $b = 152$ cm), (2) Teras ($l = 20.7$ km, $a = 184$ cm, $b = 112$ cm), and (3) Pitáycachi ($l = 43.8$ km, $a = 487$ cm, $b = 232$ cm) segments. The existence of the previously unreported Otates segment explains why the damage was most severe in Bavispe and Villa Hidalgo (formerly Óputo), which are located closer to this segment than to the previously known segments. The limits between the defined rupture segments are characterized by structural discontinuities (stepovers) and minima in the displacement distribution, which suggests that the segments ruptured independently and do not merge at depth. Macroseismic observations (Aguilera, 1888) also indicate that this was a composite earthquake with the individual shocks separated only by a few seconds. Segmentation of the surface rupture exists on a smaller scale but is not reflected in the slip distribution. Including two isolated minor segments to the north of the Pitáycachi segment, the known rupture trace length adds now up to 86.3 km, and the distance between the rupture trace extremities is 101.4 km. The rupture trace extremities are located at $109.149^{\circ}\text{W}/31.270^{\circ}\text{N}$ in the north and $109.165^{\circ}\text{W}/30.356^{\circ}\text{N}$ in the south. Based on the end-to-end length of the rupture trace and the length versus magnitude regression by Wells and Coppersmith (1994), M_w is estimated as 7.4 ± 0.3 . The surface rupture of the Pitáycachi segment has a well-developed branching pattern (five north-facing bifurcations in the northern part of the segment, two south-facing bifurcations in its southern part), which suggests that the rupture of the Pitáycachi segment initiated in its central part where the polarity of the rupture bifurcations changes. The rupture is characterized by east-west extension, perpendicular to the fault trace. However, deflected stream channels and a left-stepping en échelon rupture array indicate locally a right-lateral strike-slip component in the central part of the Pitáycachi segment.

SIS-35

A MODEL OF THE CHANGES IN COULOMB FAILURE STRESS INDUCED BY THE 3 MAY 1887 ($M_w=7.4$) SONORA EARTHQUAKE (SOUTHERN BASIN AND RANGE PROVINCE)

Juan Contreras¹ and Max Suter²

¹ Depto. de Geología, CICESE
Ensenada, Baja California
E-mail: juanc@cicese.mx

² Instituto de Geología, Estación Regional del Noroeste, UNAM
Hermosillo, Son., México

We present a numerical simulation of the changes in static Coulomb stress resulting from a major historical earthquake that occurred in the Basin and Range province of northeastern Sonora. Geological mapping indicates the surface rupture to be >100 km long and composed of three fault segments. The rupture strikes roughly N-S, dips 75° W, and individual fault segments have average vertical displacements of 2.32 m (north segment), 1.12 m (central segment), and 1.54 m (south segment). Our seismicity compilation for this region shows the epicenters to cluster near the rupture tips, in the stepovers between the individual rupture segments, and in an area 30-40 km long, located 15-30 km to the west of the rupture trace. Our calculations should clarify whether the documented clusters of seismicity are related to the changes in Coulomb failure stress.

To model the changes in static stress, we have applied the Coulomb 2.0 program, which is designed to calculate displacement, stress, and strain associated with earthquakes. In this program, the

crust is considered an elastic isotropic half-space, and the faults are dislocations embedded within this elastic continuum. We calculated the Coulomb stress for N-S striking and W dipping faults at a depth of 7 km and assumed the following material properties: Young's modulus: 0.8 bar; Poisson ratio: 0.25; crustal density: 2700 kg/m^3 ; coefficient of internal friction: 0.8. We imposed the following far-field stresses: maximum principal stress (vertical): 2180 bar; intermediate principal stress (N-S): 2000 bar; and minimum principal stress (E-W): 1280 bar.

Our work indicates a good correlation between the clusters of seismicity and the calculated stress concentrations. For example, the model suggests that the clusters of seismicity near the rupture tips and in the stepovers result from lobate stress build-ups associated with high strain gradients at the rupture terminations. Our calculations also suggest that the cluster of seismicity located to the west of the rupture is likely to result from coseismic bending of the crust.

SIS-36 CARTEL

ADVANCED DIGITAL SEISMIC NETWORKS

P. Passmore, M. Rozhkov and L. Zimakov
Refraction Technology, Inc.
2626 Lombardy Lane #105, Dallas, Texas 75220
E-mail: info@reftek.com

Refraction Technology, Inc. (REF TEK) offers digital seismic network solutions that utilize the latest advances in hardware and software technology. These networks are used in various applications, such as, regional/national seismic networks, hazard mitigation, volcano monitoring, CTBT monitoring, and small aperture arrays. These advanced seismic networks offer flexible telemetry options, low or no recurring telemetry cost, and reduced logistics and ongoing maintenance costs. Included in these networks is an advanced and unique real-time seismic network data processing software package.

REF TEK's advanced seismic networks are built around our 3rd Generation Seismic Recorder, model 130-01, and Integrated Strong Motion recorder, model 130-SM. Both recorders equipped with Ethernet controller and serial interface with Point-to-Point protocol make up the primary remote field station components for data telemetry over IP networks. Either configuration provides full duplex data transmission between the central recording station and the field stations. Any combination of these DAS configurations can co-exist in a network. Optionally, a Microdrive can be installed in the DAS to provide emergency data backup at the field site in the event telemetry is lost during large earthquakes.

A typical central station consists of a powerful online computer used for configuring the remote station DAS's, monitoring DAS status, monitoring communication status, and archiving remote station data. The REF TEK network controller (RNC) with user friendly graphical user interface (GUI) and web-enable features is available, providing an intuitive command and control application for the operator. In addition, an offline computer is installed for data processing. The offline computer is configured with an advanced data processing and analysis software package called Seismic Network Data Processor (SNDP).

Hardware, communications and software solutions will be discussed in the presentation.

SIS-37 CARTEL

ANALYTICAL MODELING ON GENERATION OF TSUNAMI WAVES

Rodrigo Gonzalez Gonzalez and Sergey Ya. Sekerzh
Zenkovich

Depto. de Física y Matemáticas, Universidad de Sonora
Hermosillo, Son., Mexico

Instituto para Problemas en Mecánica, Moscú, Rusia

A compressional point source radiating longitudinal waves in a harmonic mode is located in an homogeneous, isotropic and perfect elastic half-space, unbounded in the horizontal directions, on which lies a constant depth layer of an incompressible fluid. A linear model is constructed and the fluid motion is described by the potential equation. In the linear approximation, the vertical displacements of the fluid free surface and the interface between the fluid and elastic body, are analyzed using a computer algebra system (Maple). The results are presented for various types of parameters of the problem with the purpose to estimate the relative height of the fluid surface. Applying the model to the tsunami problem it is found that at source depths of a few tens of kilometers significant tsunami waves can be excited when the seismic source includes long period components. In particular, it is established that if the source is located at the depth of 40 km, tsunami waves are generated when the source operates at periods around 15 min.

SIS-38 CARTEL

ESTUDIO DE SISMOTECTÓNICA, ATENUACIÓN Y TOMOGRAFÍA SÍSMICA EN LA REGIÓN VOLCÁNICA Y GEOTÉRMICA LAS TRES VIRGENES, BAJA CALIFORNIA SUR

Victor Wong Ortega, Luis Munguía Orozco y Cecilio J.
Rebollar Bustamante

Depto. de Sismología, División de Ciencias de la Tierra, CICESE

Se analizó la microsismicidad registrada en octubre de 1993 en la región volcánica y geotérmica Las Tres Vírgenes, Baja California Sur. Uno de los objetivos de este estudio consistió en determinar el patrón de ocurrencia sísmica, así como el patrón de esfuerzos tectónicos que existen en la zona. Se determinó que la mayor actividad sísmica ocurrió en la Caldera El Aguajito y en la falla La Virgen. En la zona del complejo volcánico Las Tres Vírgenes solo se detectó una actividad sísmica menor. El 85 % de los eventos localizados ocurrieron a profundidades de entre 3 y 7 km. Estadísticamente, el valor de 1.29 estimado para el coeficiente b de la relación frecuencia-magnitud de los eventos sugiere un mecanismo que genera principalmente eventos de baja magnitud ($M_l < 3.5$) en la región, en comparación con los eventos de mayor magnitud que ocurren en el Golfo de California.

El análisis de las razones V_p/V_s y del coeficiente de Poisson muestra que estos parámetros varían en intervalos de 1.68 a 1.76 y de 0.23 a 0.26, respectivamente. Tales variaciones sugieren una distribución inhomogénea en la velocidad de propagación de las ondas P y S en la región. Los valores promedio determinados para la región son 1.72 para V_p/V_s y 0.24 para el coeficiente de Poisson. Por otro lado, las soluciones de plano de falla calculadas para algunos eventos sísmicos indicaron fallamiento a rumbo lateral derecho predominantemente, con ligeras componentes de movimiento normal. La distribución de los ejes principales de

esfuerzo de esos mecanismos focales sugiere que la región de estudio experimenta compresión y extensión en direcciones N-S y E-O, respectivamente, en concordancia con el patrón de esfuerzos impuesto por el sistema de fallas transformadas del Golfo de California.

Se estimaron también los factores de calidad de ondas de coda (Q_c) y de cuerpo P (Q_p) y S (Q_s) con un modelo de dispersión simple y con el método de razones espectrales, respectivamente, en un rango de frecuencias de 4 a 24 Hz. Los valores de Q_c en seis de siete estaciones analizadas muestran una tendencia muy similar con la frecuencia. Sin embargo, en la estación sísmica cercana a la zona geotérmica, los valores de Q_c se apartan de esta tendencia en las bajas frecuencias. Este comportamiento se atribuye a que la estación (E1) está ubicada en una región altamente fracturada y con manifestaciones hidrotermales superficiales. Con datos de Q_c que muestran la misma dependencia con la frecuencia y una relación de la forma $Q_c(f) = Q_0 \cdot f^{(n)}$, se obtuvo $Q_c = (50.0 \pm 3.0) \cdot f^{(0.65 \pm 0.02)}$ para la región. Para la estación E1 en particular, Q_c se expresa como $Q_c = (3.0 \pm 0.5) \cdot f^{(1.48 \pm 0.06)}$. En el análisis de atenuación de ondas de cuerpo P y S se obtuvieron valores bajos para Q_p y Q_s . En las frecuencias consideradas, la atenuación de las ondas P fue mayor que la atenuación de las ondas S, sugiriendo una corteza somera parcialmente saturada con fluidos. La forma en que Q depende de la frecuencia puede aproximarse por $Q_p = (4.0 \pm 3.0) \cdot f^{(0.97 \pm 0.29)}$ y $Q_s = (10.0 \pm 3.5) \cdot f^{(1.04 \pm 0.14)}$, para ondas P y S respectivamente. Estos resultados muestran que Q_p y Q_s aumentan con la frecuencia de manera similar a la tendencia mostrada por Q_c .

Se efectuó también un proceso de inversión simultánea de hipocentros y estructura tridimensional de velocidades en una zona de $20 \times 24 \times 10 \text{ km}^3$, que incluye al complejo volcánico Las Tres Vírgenes. Con la inversión, se determinaron zonas de baja velocidad en el flanco sur del volcán La Virgen y en la porción sur de la Caldera El Aguajito. Una de estas zonas de baja velocidad está localizada en el Cañón el Azufre y en la zona de alteración hidrotermal. La distribución de velocidades en la zona de los volcanes muestra una distribución uniforme tanto horizontal como verticalmente, indicando una estructura de velocidades muy similar a profundidades mayores de los 8 Km. La mayor variación lateral de la velocidad se observa en la zona del cañón El Azufre cuyo efecto se puede apreciar hasta 7 km de profundidad. Las variaciones en la velocidad observadas en el interior de la zona de inversión se pueden deber, entre otras razones, a efectos inducidos por la cubierta volcánica inhomogénea, a la parte superior del basamento granítico fracturado, a las altas temperaturas de la zona de los volcanes y al contenido de fluidos en las fracturas de las rocas de la zona geotérmica.

SIS-39 CARTEL

LA ACTIVIDAD SÍSMICA RECIENTE EN LA COSTA DE COLIMA

Tonatiuh Domínguez Reyes, Carlos Navarro Ochoa, Mauricio
Bretón G. y Gabriel Reyes Dávila
Universidad de Colima

Durante los meses de abril y mayo de este año, la red sísmica de Colima registró eventos frente a las costas de Colima. El mayor de ellos con una magnitud de 6.3 grados y una profundidad superficial (menor a 15 Km.), ocurrió el 19 de Mayo de 2001. La mayoría de los temblores se acumularon en dos zonas, una de ellas

muy cerca de las costas de Cuyutlán probablemente al final de la zona de acoplamiento sísmico entre la placa de oceánica de Cocos y la placa continental de Norteamérica, y la otra, sismos mas superficiales, y al inicio de la zona de acoplamiento entre estas dos placas tectónicas. Estos sismos están dentro de la zona de ruptura del temblor de 1932, de hecho la réplica mayor de dicha zona está prácticamente en medio del área de estudio. Desde el punto de vista sismológico, esta actividad puede o no ser precursora de la ocurrencia de un temblor mayor. El temblor posiblemente no sea de gran magnitud ya que a su vez, la zona está entre dos áreas que ya rompieron, la del evento de 1975 ($M_s=7.5$) y la del de 1995 ($M_s=7.4$), sin embargo puede haber otra posible consecuencia. Existe la suposición de que la réplica mayor del temblor de 1932 ($M_s=7.6$) haya provocado un deslizamiento del material que deposita el río Armería ya que lo deposita frente a un cañón submarino. Este deslizamiento a su vez pudo haber disparado el Tsunami mas grande que tuvo Cuyutlán durante el siglo pasado. La literatura reporta también otro tsunami en la misma zona en noviembre de 1816. Será esta actividad precursora de un evento generador de tsunami?.

SIS-40 CARTEL

RIESGO (PELIGRO) SISMICO EN EL ISTMO DE TEHUANTEPEC

M. Chavez¹, H. Ramirez¹, R. Bautista¹, M. Rodriguez¹, M.E. Vazquez², M.A. Sanchez², G. Diego¹ y L. Lopez¹

¹ Instituto de Ingeniería, UNAM
Mexico, D.F.

² Instituto Mexicano del Petroleo
Mexico, D.F.

Se aplica un procedimiento para estimar el riesgo (peligro) sísmico en sitios localizados en el Istmo de Tehuantepec (IT). El procedimiento combina las técnicas de la estadística bayesiana y de las funciones de Green empíricas (Irikura, 1992, 10WCEE). La información utilizada incluye registros de eventos obtenidos durante la campaña de microsismicidad efectuada en el IT a fines de 1995 (Chávez et al., AGU FALL 2000). Como un ejemplo de la aplicación del procedimiento, se estimó el peligro sísmico para un sitio ubicado en la parte central del IT.

Las principales conclusiones del estudio son las siguientes: 1) Aparte de los sismos superficiales y de profundidad intermedia, asociados a la sismotectónica regional, en el IT ocurren sismos superficiales, relacionados con la actividad de fallas superficiales neotectónicas (principalmente normales y o de transcurrancia) o debidas a la reactivación de fallas del mesozoico; 2) El potencial sísmico de estas fallas se podría traducir en sismos con M_s de hasta 6.5, los cuales podrían generar aceleraciones máximas del orden de 200cm/s^2 , en sitios localizados en su vecindad; 3) La incorporación de información neotectónica en los estudios de peligro sísmico en el IT, impacta considerablemente su estimación, comparada con los resultados de estudios convencionales en los que solo se utiliza la sismicidad histórica; 4) De esto último se deriva la importancia de que en estudios de peligro sísmico futuros, se incluya de una manera explícita (como se propone en este trabajo) la contribución de la neotectónica de la región vecina al sitio de interés.

SIS-41 CARTEL

SISMICIDAD EN COLIMA DURANTE EL ÚLTIMO AÑO

Gabriel A. Reyes Dávila y Carlos A. Ramírez Vázquez
RESCO, CUEIV, Universidad de Colima

Durante el último año la sismicidad en la región del estado de Colima manifiesta un ligero incremento tanto en el número total de eventos registrados como en el número de eventos con magnitud local mayor que cuatro. Si bien la distribución general de la localización de eventos manifiesta el mismo patrón que años anteriores se observa una concentración de eventos principalmente en tres regiones alineadas prácticamente en dirección norte: mar adentro frente al poblado de Cuyutlán, en la región epicentral del evento del temblor del 6 de marzo del 2000 ($M_l = 5.3$) y en una zona cercana al poblado de Minatitlán. Se presenta en este trabajo una descripción general de la sismicidad así como una discusión de la misma.

SIS-42 CARTEL

SISMICIDAD EN EL VALLE DE MEXICALI DISPARADA POR EL SISMO DE HECTOR MINE

G. Diaz de Cossio, E. Glowacka, A. Vidal, F.A. Nava, V Wong, F. Farfan y M. Luna
Depto. de Sismología, CICESE

Las observaciones de sismicidad y deformaciones hechas en el Valle de Mexicali confirmaron que el sismo de Hector Mine (HM) ($M=7.1$, 16 de octubre 1999) localizado en California, a 250 kilómetros al norte del Valle de Mexicali, disparó en éste sismicidad y deformaciones superficiales.

Aparte de las redes sísmicas regionales y locales, desde junio 1999 se instaló una estación de banda ancha con registro continuo en el Ejido Saitillo. Esta estación registró sismicidad en periodos que abarcan 75 días en verano, 3 días antes del terremoto de HM, el terremoto de HM y dos semanas después de éste y 100 días del invierno 1999/2000. El análisis de los sismogramas permite concluir que se puede distinguir dos tipos de sismos: tectónicos y de tipo tremor volcánico. Los eventos tipo volcánico aparecen 10 minutos después del sismo principal. Los eventos tectónicos locales, demasiado chicos para poder ser localizados, aparecen 2 horas después del sismo principal. Los eventos tectónicos con magnitud M^3 2.5 localizados por la red regional RESNOM comienzan 33 horas después.

En este trabajo presentamos tres tipos de análisis de la sismicidad disparada por HM:

- Distribución espacio-temporal de los sismos con M^3 2.5 y su relación con el proceso de deformación disparado por el evento principal.
- Análisis estadístico de sismos tipo tremor volcánico y ruido.
- Análisis espectral de sismos tipo tectónico y volcánico