



Universidad
Nacional
Autónoma de México

SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL



CIUDAD UNIVERSITARIA

DELEGACION DE COYOACAN

CODIGO 04510 MEXICO, D.F.

FAX: (52) 5 616-2547



Departamento de
Sismología

SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL

Reporte de Sismos

Sismo de Colima de Enero 2003

Magnitud 7.6



INSTITUTO DE GEOFÍSICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Enero 23, 2003

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Geofísica

Director: Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi

Servicio Sismológico Nacional de México

Dr. Javier Francisco Pacheco
Jefe del Servicio Sismológico Nacional

Dr. Luis Quintanar Robles
Responsable Red del Valle de México.

Ing. Casiano Jiménez Cruz
Coordinador de Interpretación y Análisis de Datos del SSN

Analistas: M. Angeles Gutiérrez García y Bernardino Rubí Zavala

Ing. Jesús Antonio Pérez Santana
Jefe de Cómputo.

Programadores: M en I. Tan Yi Li

Ing. Jorge Alberto Estrada Castillo
Jefe de Mantenimiento.

Técnicos electrónicos: Ing. Arturo Cárdenas Ramírez, José Luis Cruz Cervantes y José Antonio Santiago Santiago.

Colaboración especial:
Dr. Carlos Valdés González

Agradecimientos:

Agradecemos a los Ingenieros Enrique Guevara y Cesar Monquecho del CENAPRED por los datos de aceleración proporcionados. Especial agradecimientos al Maestro Gabriel Reyes de la red sísmica RESCO de la Universidad de Colima por sus comentarios y facilitarnos sus datos sísmicos. Agradecemos al Dr. Mikumo por mostrarnos los resultados de la Universidad de Tokio.

Introducción

Al momento de este reporte se han contabilizado cerca de 30 personas fallecidas como consecuencia del temblor de Colima del 21 de Enero del 2003. Más de 400 personas han se reportan con alguna lesión grave y cerca de 10,000 viviendas resultaron afectadas por el movimiento fuerte del suelo. El sismo que ocurrió a las 8:06 pm de la noche (hora local) afectó todo el estado de Colima y zonas aledañas de los estados de Michoacán y Jalisco. El Servicio Sismológico Nacional reportó una magnitud de 7.6 para este temblor y lo localizó frente a las costas de Colima, frente a Coyutlán. Este es un sismo superficial, producto del choque de placas tectónicas.

La placa oceánica de Cocos se mueve en dirección de convergencia frontal con las placas de Norteamérica (donde se concentra la mayor parte del territorio Mexicano) y del Caribe (sobre la que se encuentran los países Centroamericanos). A pesar de que el movimiento convergente es constante, la fricción a lo largo del contacto entre las placas impide que estas se deslicen, produciéndose una deformación debido a la acumulación de esfuerzos.

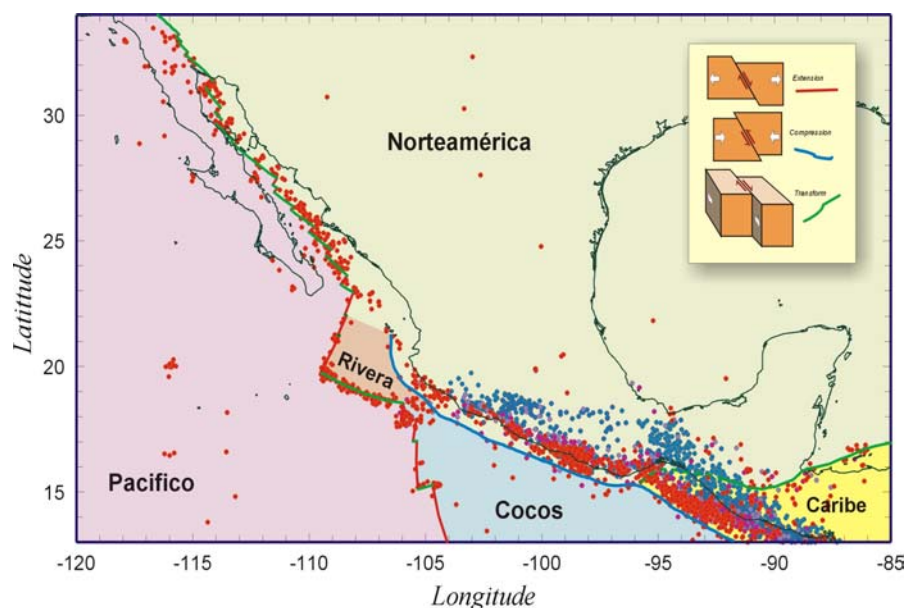


Figura 1. Distribución de placas tectónicas en México. Puntos rojos representan sismos superficiales (profundidades menores a 40 km) y puntos azules representan sismos más profundos.

Este movimiento convergente entre la placa oceánica de Cocos y la placa continental de Norteamérica, a lo largo de la Trinchera Mesoamericana (TMA) frente a las costas de Colima, se produce a una tasa de más de unos 5 cm/año. Esto es, cada año se acumulan 5 cm de deslizamiento relativo entre las placas. Una buena parte de este movimiento se acumula en forma de energía elástica, la cual se libera súbitamente a través de un gran temblor. Al ocurrir un temblor, se produce un deslizamiento a lo largo de la superficie de contacto y la placa de Cocos se mueve relativa a Norteamérica. Este proceso se ha repetido a lo largo de millones de años. En todos estos años, la placa de Cocos ha penetrado el

manto que se encuentra bajo la corteza terrestre. Para poder ver esta placa subducida, se grafican los sismos en una sección transversal, el patrón que se forma se le denomina la zona de Benioff, la cual es una imagen de la placa en subducción. En el caso de Colima, esta zona de Benioff se puede seguir hasta 150 km de profundidad (Figura 2).

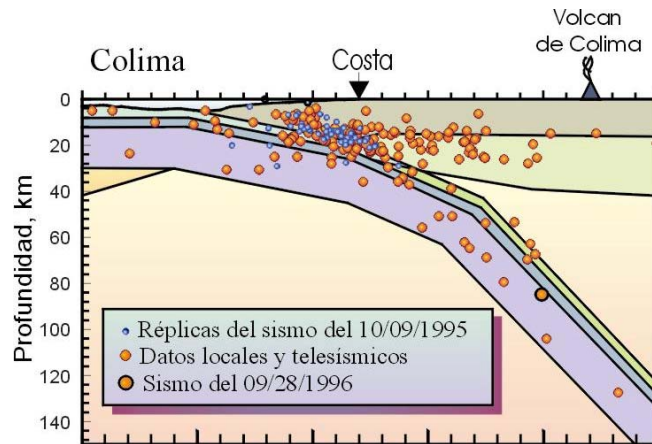


Figura 2. Perfil que muestra la placa oceánica de Cocos subduciendo bajo la placa continental de Norteamérica bajo el estado de Colima.

Grandes sismos como los del pasado 21 de Enero del 2003 son fenómenos muy poco frecuentes, pero no inesperados. En el siglo pasado Colima se vio afectado por grandes sismos que ocurrieron frente a las costas que comparte con Jalisco – sismo de 1999 (M 8.0) – y de Michoacán – sismo de 1973 (M 7.6). Estos fenómenos se seguirán sucediendo como consecuencia de la dinámica en la superficie terrestre.

Sismicidad Histórica.

“El pueblo de Zocoalco, así como los demás intermedios entre éste y el volcán de Colima, han sido propenso a sufrir continuos temblores de tierra, que en varias ocasiones han causado serios transtornos, a pesar de mediar más de treinta leguas[...]. El martes [...] se registró un sacudimiento formidable, que derribó varias casas y causó la muerte a mas de sesenta personas, siendo entonces cuando se destruyó la cañería que conducía el agua para los riegos de las huertas de los naturales de la población”. Este es un relato de un sismo del 27 de diciembre de 1568, en la región de Colima.

En la Figura 3 se muestra los grandes sismos que recientemente han afectado al estado de Colima. Las zonas de ruptura se abaten sin llegar a sobreponerse, lo que muestra los principios de la hipótesis de la brecha sísmica. Según esta hipótesis, las zonas sísmicas (regiones donde historicamente se han presentado temblores de gran magnitud) que no han sufrido la ruptura por un sismo de gran magnitud en muchos años, son más propensas a romper en un gran temblor en el futuro cercano.

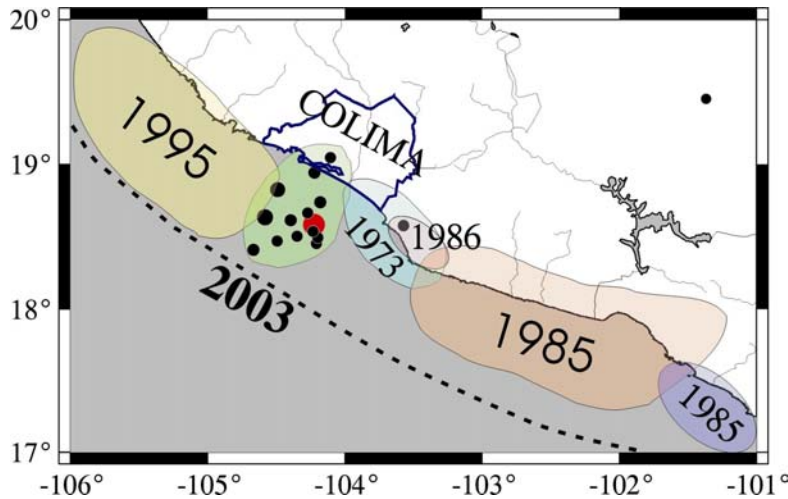


Figura 3. Mapa que muestra las zonas de ruptura de sismos recientes que han afectado el estado de Colima. Los puntos negros son la réplicas localizadas hasta el 22 de Enero por el SSN y el punto rojo muestra el epicentro del sismo principal del 21 de Enero.

Efectivamente, desde la réplica del gran sismo del 3 de Junio de 1932 (M 8.2) que ocurrió el 18 de Junio de 1932 (M 7.8) no se había registrado un gran sismo en esta región. Las zonas aledañas presentaron recientemente ruptura en grandes sismos. La primera ocurrió el 30 de Enero de 1973 (M 7.6) adyacente y hacia el este del temblor de Colima del 2003, más hacia el este ocurrió el gran sismo de Michoacán de 1985 (M 8.1) y su tardía réplica del 30 de Abril de 1986 (M 7.0) y por último, el 9 de Octubre de 1995 rompió la zona adyacente hacia el oeste durante el gran sismo de Jalisco-Colima (M 8.0).

La fuente sísmica

Los temblores son generados por la acumulación de esfuerzos en la corteza terrestre, estos esfuerzos pueden ser por compresión, tensión o cizalla. Para determinar el tipo de esfuerzo generador del sismo, se realiza un estudio de la fuente sísmica a través de los sismogramas que se registran.

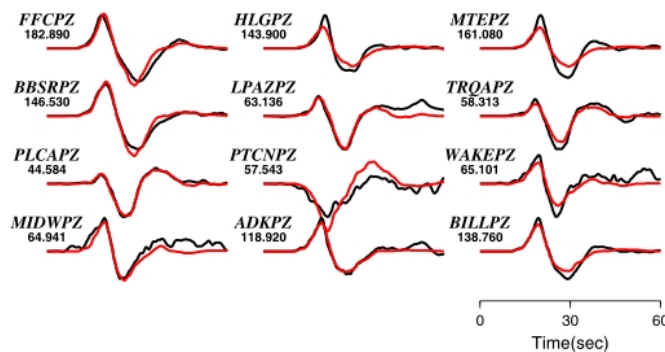


Figura 4. Onda P registrada en las estaciones de la red sísmica (traza color negro) mundial utilizadas el Dr. Yagi en la búsqueda del mecanismo que produjo el sismo de Colima. Las trazas rojas son los sismogramas sintéticos que mejor simula la señal observada.

. La Figura 4 muestra este estudio realizado para el sismo del 21 de Enero por el Dr. Yugi Yagi del Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica de Japón (<http://www.iiseen.kenken.go.jp>). Las trazas negras muestran los registros originales y las trazas rojas muestran los registros sintéticos que más se asemejan a los registros observados. Para construir los sismogramas sintéticos se prueban diferentes mecanismos de falla hasta encontrar un mecanismo de falla que genere sismogramas sintéticos que se asemejan a los observados.

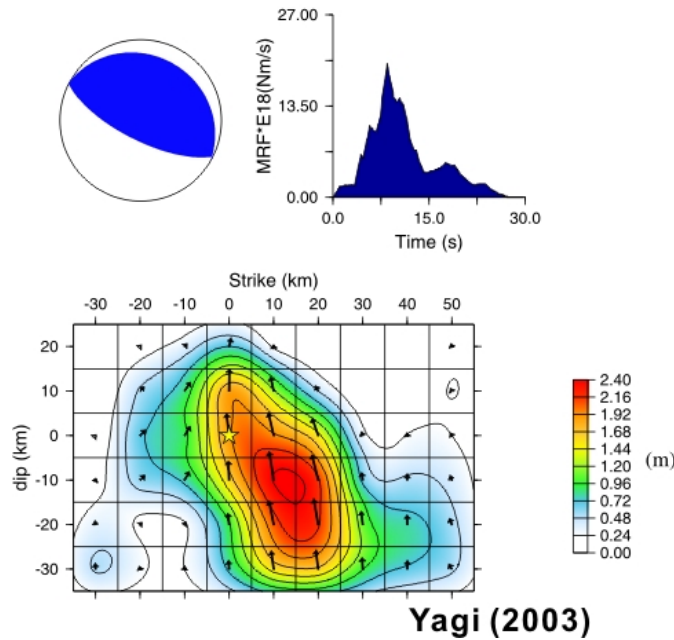
Acimut	Buzamiento	Ángulo de Deslizamiento	Momento Sísmico	Profundidad de Centroide	Fuente
267°	8°	50°	6.1x10 ²⁰ Nm	5.0	USGS
305°	17°	103°	1.6x10 ²⁰ Nm	32.6	Harvard

*USGS : http://wwwneic.cr.usgs.gov/bulletin/neic_phac.html

Harvard CMTS : <http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>

El mecanismo de falla que reproduce los sismogramas observados se representa como una bola de playa en la Figura 5. Este tipo de mecanismo se denomina fallamiento inverso o de cabalgadura. La interpretación de este mecanismo es que la falla que rompió durante el sismo tiene una dirección de 305° respecto al Norte, buza casi horizontalmente (17°), haciendo que un bloque se mueva hacia abajo (la placa de Cocos) y el otro hacia arriba (la placa Norteamericana). La ubicación del sismo dentro de la placa de Cocos en subducción supone un movimiento de deslizamiento de la placa de Cocos por debajo de la Norteamericana, debido al empuje de la primera. Contrario a la creencia común, los sismos son fenómenos de corta duración. El proceso de ruptura toma unos pocos segundos en llevarse a cabo. Por supuesto, este tiempo de ruptura se incrementa con la magnitud. Un sismo de magnitud 6, toma aproximadamente 3 segundos en romper la falla, mientras que el sismo de magnitud 7.6 tomó aproximadamente 27 segundos en completar el fracturamiento. Esto se muestra en la misma Figura 5 en dos formas. El triángulo azul es la fuente temporal, esto es como se liberó la energía con el tiempo. El mapa inferior muestra como se liberó la energía en el espacio.

2003 Colima, Mexico, Earthquake
 Moment = 0.1445×10^{21} (Nm), $M_w = 7.4$
 (Strike,Dip,Slip) = (300.0, 20.0, 93.1)



Yagi (2003)

Figura 5. Resultados del estudio de la fuente sísmica realizado por el Dr. Yugi Yagi. El mecanismo focal es la bola de playa, la fuente temporal aparece a su lado y la distribución espacial de la dislocación en la figura de abajo.

La interpretación de estas figuras es que el temblor fue producido por el movimiento relativo entre las placas de Cocos y Norteamérica, movimiento que se acumuló durante un largo período de tiempo y llegó a vencer la resistencia de la roca. Súbitamente se rompió el contacto entre las placas generando un sismo que liberó esa energía acumulada en tan solo 24 segundos. La ruptura tuvo una dimensión de 70 km por 50 km de lado y su máxima dislocación fue de 2.4 metros. Si tomamos en cuenta que se acumulan 5 cm por año de deformación, los 2.4 metros se acumularon en 48 años, que es alrededor del 60% del tiempo transcurrido entre 1932 y 2003, por lo que parte de la energía acumulada debe haberse disipado de manera asísmica o como parte de algunas de las réplicas del sismo de 1995.

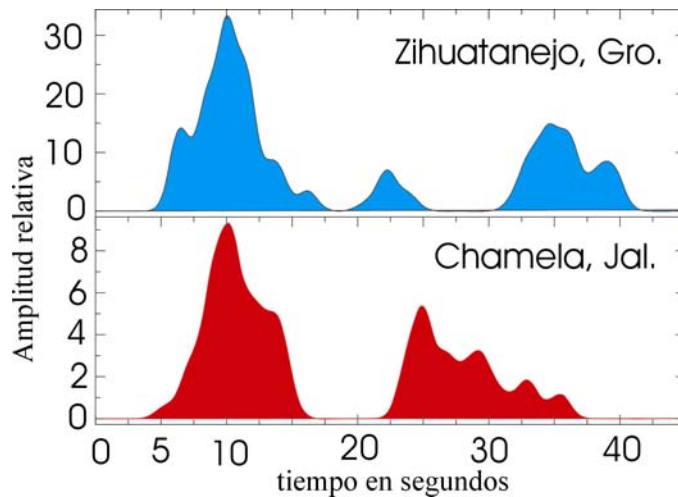


Figura 6. Funciones temporales aparentes medidas en Zihuatanejo y en Chamela.

Se puede obtener una fuente temporal aparente, esto es, la fuente vista desde una posición en particular, en nuestro caso una estación, para averiguar con varias de estas fuentes aparentes la dirección aproximada de la ruptura. La Figura 6 muestra la fuente temporal vista desde un punto en el noroeste (Chamela, Jalisco) y un punto al sureste (Zihuatanejo, Guerrero). Se puede apreciar que ambas estaciones “ven” que la mayor liberación de energía se da en los primeros 10 segundos y luego en otro pulso menor varios segundos después. En este segundo pulso difieren los puntos de vista de las estaciones sísmicas; Chamela vió iniciarse el segundo pulso 5 segundos después de finalizar el primer pulso, mientras que Zihuatanejo lo vió iniciarse hasta 12 segundos después. Además Chamela dice que el segundo pulso duró 15 segundos, mientras que Zihuatanejo midió una duración de apenas 10 segundos, pero con un pulso pequeño anterior. Esta divergencia entre las estaciones sísmicas nos permite concluir que la ruptura tuvo una dirección preferencial hacia el noroeste.

Maremoto

Todos los grandes sismos que ocurren en el océano, cerca de las costas, como es el caso de todos los sismos de subducción, producto de la colisión entre una placas tectónicas generan maremotos (tsunamis). Este sismo de Colima no es una excepción. Los maremotos se producen por la deformación súbita que sufre el suelo oceánico por la ocurrencia de un gran temblor. El tamaño del maremoto depende de dos factores principales; el tamaño del sismo y de que tan cerca esté la ruptura de la trinchera oceánica (la expresión superficial de la falla). En el caso del sismo de Colima del 2003, el maremoto que se produjo fue de baja amplitud. La Figura 7 muestra los registros de mareógrafo de Manzanillo, Colima proporcionados por el Dr. Modesto Ortiz del CICESE, Ensenada, BC.

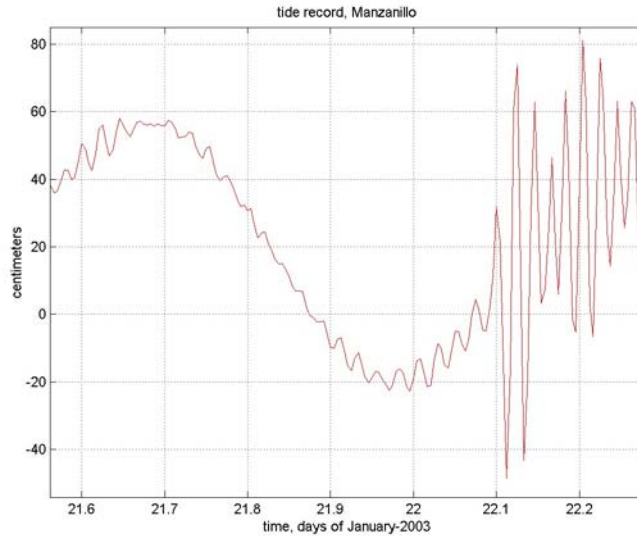


Figura 7. Mareógrafo del maremoto producido por el sismo de Colima, registrado en Manzanillo, Colima. El sismo se produjo a las 20:06 (GMT), la primera ola arriba entre 6 y 12 minutos después del inicio del sismo.

Atenuación del movimiento fuerte con la distancia.

El movimiento fuerte del terreno se mide por la aceleración del suelo que se registra en los sensores de aceleración de los observatorios sismológicos. La Figura 7 muestra como esta aceleración máxima disminuye con la distancia al epicentro. Los puntos rojos en la Figura 7 son los valores máximos de aceleración medidos en diversas estaciones sísmicas. La curva de línea intermitente es la curva teórica de atenuación para un sismo de profundidad somera y de magnitud 7.6. Esta curva teórica se determinó a partir de varios sismos de profundidad somera ocurridos en México. La mayor parte de estos sismos utilizados para generar la curva teórica ocurrieron y fueron registrados por estaciones en el centro de México y a cortas distancias del sismo, por lo que el ajuste no es totalmente adecuado. Desafortunadamente, al momento de escribir este reporte no contamos con datos de aceleración en sitios cercanos al epicentro.

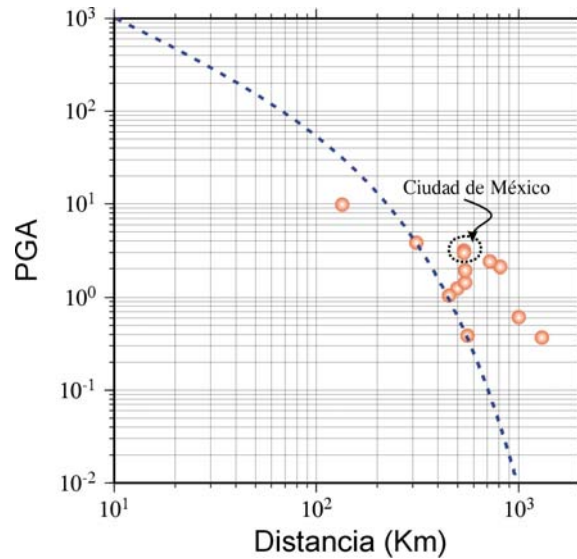


Figura 7. Curva de atenuación de la aceleración máxima (punteada azul) de un modelo empírico de Singh y Ordaz (1994) para sismos superficiales. Valores observados en estaciones de aceleración (puntos rojos) en cm/seg^2 .

La máxima aceleración registrada por las estaciones del SSN se encontró en la estación Chamela (CJIG), localizada a 133 Km del epicentro. Esta estación registró una aceleración máxima de 20 gales (cm/seg^2). La estación CUIG, ubicada en Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, D.F., registró una aceleración máxima de 4 gales.

Magnitud del evento.

Varias magnitudes han sido reportadas para este sismo. La tabla 2 muestra estas magnitudes y la fuente de donde se obtuvo este valor.

Tipo de magnitud	Magnitud	Fuente
m_b	7.3	United States Geological Survey (USGS)
M_b	6.1	Federación de Redes Sísmicas de Francia
M_S	7.3	United States Geological Survey
M_{Sz}	7.8	Federación de Redes Sísmicas de Francia
M_w	7.8	United States Geological Survey
M_w	7.4	Harvard University Centroid Moment Tensor Solution
M_E	7.6	Servicio Sismológico Nacional de México

La variación de la magnitud para el sismo de Colima del 21 de enero de 2003 reportado por varias instituciones, obedece al uso de formulas diferentes, así como el empleo de estaciones diferentes localizadas en diversos sitios. Por ejemplo, la menor magnitud reportada, 6.1, corresponde al cálculo de la magnitud mediante el uso de la amplitud de las ondas de cuerpo del sismograma. Estas ondas de cuerpo representan una porción muy pequeña del sismograma completo, por lo que para magnitudes mayores a 6.5 el calculo de la energía es subestimado en forma considerable. Además este tipo de magnitud y la magnitud M_S solo miden una porción limitada del espectro de frecuencias del

sismo. Es por ello que este tipo de determinaciones subvalúan el valor de la magnitud para sismos grandes.

La magnitud representa la energía liberada por un sismo en el epicentro. Es muy común que al termino de magnitud se le añada “grados Richter”, lo cual no siempre corresponde con la definición y el tipo de instrumentación señalada por Richter para su magnitud. Actualmente la magnitud más precisa es la conocida como M_w , que corresponde al cálculo basado en el momento sísmico, correspondiente a la energía necesaria para producir una dislocación dada en un área de ruptura dado, tomando en cuenta la dureza de la roca. El Servicio Sismológico Nacional calcula la magnitud basado en la energía irradiada por el sismo (M_E). Esta magnitud ha sido calibrada con la magnitud M_w (Singh y Pacheco, 1994).

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, y el hecho de que las determinaciones de M_w por Harvard y el USGS se encuentran entre 7.4 y 7.8 respectivamente, el valor promedio de 7.6 para la magnitud del sismo del 21 de enero, es adecuado.

Conclusiones.

Al momento de este reporte, el informe oficial sobre los daños producidos por el sismo del 21 de enero de 2003, es el siguiente: Al menos 29 personas perdieron la vida, más de 300 personas heridas, cerca de 15 casas dañadas o destruidas, 10,000 viviendas afectadas, daños en los sectores de comunicación y de energía eléctrica, la ciudad con mayores daños es la de Colima, y otras poblaciones con daños importantes corresponden a Villa de Álvarez, Pueblo Juárez, Coquimatlán y Zacualpan.

Gran cantidad de los daños observados, se deben principalmente al efecto del movimiento severo del suelo que se prolongó aproximadamente por 50 segundos en la zona epicentral, dañando principalmente estructuras construidas de adobe y con techos frágiles como son de teja, las cuáles al paso del tiempo se deterioran aún mas.

Sismos como el ocurrido en Colima el 21 de enero de 2003, son frecuentes en la costa Pacífico de México, así como también son comunes las construcciones que no son resistentes a los sismos (casas de adobe o mampostería sin reforzar) en esta región del país. Por lo que es recomendable una evaluación y reforzamiento de estructuras vulnerables cercanas a la costa Pacífico de México, que es donde ocurren los mayores sismos en México (Kostoglodov y Pacheco, 1999).



Bibliografía.

- Anderson, J. G., S. K. Singh, J. M. Espíndola and J. Yamamoto. Seismic strain release in the Mexican subduction thrust. *Phys. Earth Planetary Interiors*, **58**, 307-322, 1989.
- Kostoglodov, V., y J. Pacheco. Cien años de Sismicidad en México. Instituto de Geofísica, 1999.
- Nishenko S.P., and S. K. Singh. Conditional probabilities for the recurrence of large and great interplate earthquakes along the Mexican subduction zone. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **77**, 2096-2114, 1987.
- Pacheco, J.F., S.K. Singh, J. Domínguez, A. Hurtado, L. Quintanar, Z. Jiménez, J. Yamamoto, C. Gutiérrez, M. Santoyo, W. Bandy, M. Guzmán, V. Kostoglodov, G. Reyes, and C. Ramírez. The October 9, 1995 Colima-Jalisco, Mexico earthquake (Mw 8): An aftershock study and a comparison of this earthquake with those of 1932. *Geophysical Research Letters*, **24**, 2223-2226, 1997.
- Singh, S.K., and J. F. Pacheco. Magnitude determination of Mexican earthquakes. *Geofísica Internacional*, **33**, 189-198, 1994.
- Singh, S.K., y M. Ordaz. Sismicidad y movimientos fuertes en México: una visión actual. Cuadernos de Investigación, Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, **18**, 1994.