



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

LOS SISMOS EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA Y SU POTENCIAL PELIGRO PARA LA CONSTRUCCIÓN.

M. Royo-Ochoa¹, R. Chávez-Aguirre¹, A. Quintana-Domínguez¹, A. Pinales-Munguía¹, J. Castañeda-Ávila¹, M. L. Villalba¹, M. S. Espino-Valdés¹, R. De la Garza-Aguilar¹, P. I. Cordero-De los Ríos¹, R. Acosta-Chávez¹, J. Urrutia-Fucugauchi³, L. M. Alva-Valdivia³, J. A. González-Rangel³ M. Royo-León¹, L. H. Colmenero-Sujo²

1 Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua, Circuito No. 1, Nuevo Campus Universitario, C. P. 31125, Chihuahua, Chih.

2 Instituto Tecnológico de Chihuahua II, Chihuahua, Chih.

3 Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.

RESUMEN

Los diseños estructurales al ser calculados para las construcciones deben de ser acordes a la sismicidad de la región geográfica donde se ubiquen dichas edificaciones. Los reglamentos de construcción privilegian la protección de los ocupantes, más que la inversión económica del propietario del edificio. Nuestro país por su ubicación en el contexto geológico global es un terreno sísmico-volcánico, y en diferentes regiones del mismo, existen ejemplos de localidades donde han ocurrido eventos sísmicos y volcánicos históricos. En el Estado de Chihuahua se han definido dos provincias fisiográficas una, la Sierra Madre Occidental, y la otra Cuencas y Sierras. La primera es una provincia petrográfica en la que privan las rocas ígneas volcánicas y en la segunda por su origen, unidades rocosas sedimentarias con geformas afalladas normalmente y cuencas adyacentes rellenas por detritos continentales. Tectónicamente, la historia de la formación de la provincia de Cuencas y Sierras se inicia en el Oligoceno Superior cuyo apogeo de la extensión ocurre en el Mioceno, sin embargo, actualmente se piensa que esta distensión continúa, y que pudiera estar relacionada con el Rift del Río Grande y que al estar activa, causaría la actividad sísmica histórica en el Estado de Chihuahua, representando un riesgo potencial a futuro. Estudios de Geología, principalmente aquellos relacionados con los rasgos neotectónicos manifestados en las características geomorfológicas de la provincia de Cuencas y Sierras, así como, el seguimiento y monitoreo de la actividad sísmica y de extensión de los valles de Chihuahua, serán necesarios para brindar a los ingenieros civiles herramientas para que sus diseños estructurales sean acertados, previniendo lo más posible las eventualidades sísmicas y su potencial riesgo.

Palabras claves: Peligro sísmico, construcciones, Cuencas y Sierras, Chihuahua, México.

ABSTRACT

The structural designs calculated for building purposes must always be in accordance to the seismicity of the geographic region in which such constructions are located. Building regulations privilege the protection of the inhabitants over the economic investment of the building's owner. Our country, due its location on the global geological context, is a seismic-volcanic terrain, and in there are examples of regions in which historical seismic and volcanic events have occurred. There are two physiographic provinces defined within the State of Chihuahua, Sierra Madre Occidental and Basins and Ranges. The first is a petrographic province with a majority of igneous volcanic rocks, and the second has, by origin, sedimentary rock units with geofomas normal faulted and adjacent basins filled with continental detritus. The tectonic history of the Basin and Ranges province begins on the Upper Oligocene, whose extension apogee happened in the Miocene, however it is actually thought that this distention continues, and that it could be related with the Rio Grande Rift and being active, would cause the historical seismic activity in the State of Chihuahua, representing a potential future risk. Geological studies, mainly those related to the neotectonic features manifested in the geomorphological characteristics of the Basin and Ranges provinces, same as the monitoring and follow-up of the seismic activity and the extension of the valleys in Chihuahua will be necessary to provide the civil engineers tools so their structural designs are accurate, preventing as much as possible the seismic eventualities and their potential risks.

Key words: Seismic risk, buildings, Basins and Ranges, Chihuahua, México

INTRODUCCIÓN.

El riesgo sísmico en nuestro país existe en una parte importante del territorio nacional, salvo la región donde se encuentra la península de Yucatán; y en la región central y noreste del país, donde no parece haber una amenaza sísmica de consideración. Esto obedece a la situación geográfico-tectónica de nuestro país, y se tiene un potencial peligro para la construcción teniendo que apoyarse en el diseño antisísmico.

En términos generales las disposiciones de los reglamentos, relativas al diseño sísmico, están especialmente dirigidas hacia el logro de un desempeño estructural adecuado, en las zonas que están expuestas a sismos intensos, además de alentar la mitigación sísmica mediante una buena práctica profesional de los ingenieros al demandar una mejor calidad en la construcción, con el fin de lograr el nivel esperado de la seguridad estructural y el desempeño sísmico, privilegiando la protección de los usuarios sobre la inversión.

En el caso del área de la ciudad de Chihuahua, un sismo muy intenso puede tardar decenas o cientos de años para presentarse, por lo que es muy baja la probabilidad de que un gran sismo se presente durante la vida útil de la estructura. Sin embargo, dado que la región del Estado, ha estado sometida a sismos importantes en los últimos 100 años, los efectos por sismo, en el diseño de estructuras para la ciudad de Chihuahua, deberían tomarse en consideración.

MARCO GEOLÓGICO GENERAL DEL ESTADO DE CHIHUAHUA.

Provincias Fisiográficas y Petrológicas.

En el territorio del estado de Chihuahua se localizan dos provincias fisiográficas, la de la Sierra Madre Occidental (SMOc), en la porción oeste del estado y la provincia de Cuencas y Sierras en la porción centro-este del territorio, y son coincidentes con sendas provincias Petrológicas, la primera caracterizada porque predominan rocas ígneas volcánicas, y en la segunda lo hacen las rocas sedimentarias.

La *Sierra Madre Occidental* se presenta como una gran meseta afallada en sus flancos y erosionada, cuya orientación es NW-SE, con una longitud de más de 1200 km y un ancho de 250 km.

Se ha definido como constituida por dos supergrupos volcánicos (Mc Dowell y Clabaugh, 1979), el inferior conformado principalmente por rocas intermedias con edades que van de los 100 a los 45 millones de años, se caracteriza por derrames y unidades piroclásticas de composición andesítica, con algunas intercalaciones de ignimbritas riolíticas, se haya ligeramente deformado e intensamente afallado y alterado, su contacto superior se muestra como una superficie irregular de fuerte paleorrelieve, y constituyen un típico arco magmático de carácter calcoalcalino, relacionado con una margen continental convergente, donde la paleo placa Farallón se hundía bajo la corteza continental del norte de México. El supergrupo superior es eminentemente riolítico y riodacítico, con rocas de edad que oscilan entre los 34 y 27 millones de años, constituye la cubierta ignimbrítica continua más extensa de la tierra (1200x250 km ~ 300,000 km²), con un espesor aproximado de 1000 m, Mc Dowell y Clabaugh (1979) comentan que tal volumen de ignimbritas debe haber sido extravasado por 200 a 400 calderas con diámetros que rebasarían los 40 km; aunque en la actualidad el fallamiento normal sucedido y los depósitos detríticos, principalmente aluviales han cubierto muchos rasgos; Demant y Robin (1975) atribuyen el origen de la cubierta ignimbrítica, como volcanismo típico de una zona de rift, atrás de un arco andesítico por reacción de la corteza a la subducción, y la coexistencia de volcanismo de tipos compresivo y distensivo.

La provincia de *Cuencas y Sierras* (Southern Basins and Ranges province) se extiende por una superficie aproximada de 200,000 km², es una gran superficie desértica en la que emergen aislados bloques montañosos (sierras) separados por amplias llanuras (valles), ambos presentan una orientación NW-SE, las sierras son estructuralmente horsts, que separan a los valles al constituir un parteaguas, y los valles que son grabens producto del fallamiento normal, en los que se formaron cuencas endorreicas de poco declive, y en las cuales en la actualidad se pueden formar lagunas estacionales, las que se han ido relleno de materiales de acarreo (T y Q), producto de la erosión de las sierras; se les denomina bolsones, al cumplir con estas características. La elevación media de los valles de bolsón oscila entre los 1200 y los 1400 msnmm, donde las sierras se levantan entre 600 y 1000 m sobre el nivel de los valles, el ancho de los valles oscila entre los 10 y los 30 km, siendo de 20 km, la mayor parte de las veces, en la porción oriental de la provincia son más anchos, y la altura de las sierras disminuye; sin embargo cerca del río Bravo (Río Grande) disminuye el ancho de los valles. El espesor de los sedimentos en los valles puede llegar a ser de hasta 2000 m (pozos Banco Lucero No.1 y Espía No. 1).

Las rocas aflorantes en esta provincia en su mayoría son sedimentarias de edad mesozoica, con pocos afloramientos del Paleozoico. Estas rocas conforman el cuerpo principal de las sierras de la provincia.

El Rift del Río Grande (RGR)

Este rasgo morfoestructónico se halla representado en la provincia de Cuencas y Sierras, por dos brazos (Seager y Morgan, 1979) uno, la traza del Río Grande (Río Bravo-Bolsón del Hueco) y el otro por el Bolsón de los Muertos. El primero se extiende desde Ciudad Juárez hasta Ojinaga, y el segundo desde Puerto Palomas hasta Villa Ahumada.

Chapin y Seager (1975), Seager y Morgan (1979) y Cook et al. (1979), han documentado que la extensión del RGR se inició en un periodo entre hace 30 y 26 Ma. Posteriormente sigue un tiempo de quietud que va a durar de los 20 a los 13 Ma. En el intervalo de los 13 a los 9 Ma se experimentó un nuevo pulso de actividad tectónica y volcánica, hasta que hace 5 Ma tuvo el clímax en su actividad, desde entonces el ritmo de actividad se ha conservado al parecer bajo, en la actualidad se ha detectado actividad sísmica en la región de El Porvenir, al SE de Ciudad Juárez.

El Rio Grande Rift (RGR) es una estructura tectónica continental formada bajo un régimen tectónico extensional, en un contexto de tectónica de placas. Olsen (1995) indica que en la actualidad es generalmente aceptado que son rasgos extensionales, aunque pueden estar asociados a etapas tempranas, contemporáneas o posteriores de compresión.

En general un rift continental puede caracterizarse por una o varias depresiones topográfico-estructurales más o menos angostas y alargadas, que pueden ser físicamente continuas o segmentadas, y a las que están asociadas fallas normales profundas (algunos autores consideran que pueden llegar hasta el manto) que servirían de conductos para el ascenso de magmas; esta actividad ígnea se puede presentar antes y durante el proceso de extensión.

De la misma manera Olsen (1995) comenta, que se considera a un rift continental como una depresión tectónica elongada que se asocia con una modificación en la que el total de la litosfera ha sido afectada por la extensión, y también que un sistema de rifts se define como una serie de rifts interconectados tectónicamente.

La zona de rift puede caracterizarse por un elevado flujo de calor y una variación secular de los esfuerzos y el fallamiento, se asocian a con un marcado adelgazamiento de la corteza bajo la zona de rift y la intrusión de material de baja densidad proveniente del manto.

La actividad tectónica reciente a lo largo del área del RGR en USA se ha manifestado como fallas que desplazan aluviones y arenas del desierto en el Bolsón de la Mesilla (al W de El Paso, Tex.) y como una serie de maares orientados N-S en el área entre El Paso, Tex., Las Cruces, N. M. y Palomas, Chih. (Stuart, 1981). En 1981 Ander reportó que la falla de Santa Fe, ubicada en el límite E del RGR, tiene un desplazamiento de 3500.0 m y tiene evidencia de cuando menos tres movimientos durante el Cuaternario, con desplazamientos mínimos de 20.0 m en cada episodio. Brown et al. (1979), reportaron numerosas fallas normales de ángulo fuerte de edad Terciario, con desplazamientos de hasta 4.0 km, en el basamento de Albuquerque, N. M.

Más adelante se reseñan algunos efectos tectónicos observados en el estado de Chihuahua, que pueden estar relacionados con la extensión del RGR en tiempos recientes.

BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE SISMOS Y SUS EFECTOS

La predicción de los sismos en la actualidad no ha sido lograda, la respuesta al cuándo ocurrirá un sismo y su magnitud probable, todavía no se ha alcanzado con un buen nivel de certeza. Sin embargo, se puede destacar que usando los conceptos de la tectónica de placas y la historia sísmica de México se puede comentar lo siguiente:

En el caso de los sismos de subducción, los periodos de recurrencia varían en general, entre 35 y 80 años. Con estos antecedentes, se concluye que en el Sur de México existen por el momento

dos brechas importantes maduras con probabilidad de romperse en el mediano y corto plazo. Una es la de Guerrero, entre Zihuatanejo y Acapulco, y la otra es la del Istmo de Tehuantepec. De acuerdo a la longitud de las brechas en cuestión, las magnitudes podrían variar de 7.9 a 8.4.

Es importante insistir que esta estimación del peligro sísmico no tiene ningún valor predicativo sobre la fecha de ocurrencia, solo significa que la probabilidad de ocurrencia de un temblor en dichas regiones es alta, de acuerdo al conocimiento actual de la tectónica global. Otras investigaciones y observaciones pudieran refinar las estimaciones, pero no eliminar al hecho de que tarde o temprano en esas regiones ocurrirá un gran sismo.

En el caso de los sismos tensionales de profundidad intermedia, los períodos de recurrencia parecen ser en términos muy generales del orden de 100 años. Lamentablemente son difíciles de estudiar pues la actividad micro-sísmica es de baja magnitud y la cobertura observacional actual de México no es suficiente para localizar confiablemente la sismicidad de fondo y comprender claramente la fenomenología de este tipo de sismos. Sin embargo, la evidencia a la mano, tanto de sismos históricos como instrumentales, sugiere que la región sur de Puebla y norte de Oaxaca presente un mayor peligro.

Mucho más difícil es pronosticar el “cuando ocurrirán los terremotos del Eje Volcánico del Golfo de México. Las descripciones históricas no permiten estimar un período de recurrencia confiable y esto puede deberse a que los procesos tectónicos ahí son lentos y la estructura geológica compleja. Las magnitudes esperadas son probablemente similares a las máximas observadas instrumentalmente.

La sismología moderna intenta la predicción de grandes sismos, es decir, la posibilidad de predecir con un nivel aceptable de error la magnitud, localización y fecha de un futuro temblor. A pesar de que existe un esfuerzo científico internacional encaminado a satisfacer este propósito, se está aún lejos de tener un método seguro y consistente para predecir sismos.

En varias zonas sísmicas del mundo, se han reportado fenómenos que anteceden a un terremoto y que podrían utilizarse como síntomas para emitir una predicción. Por ejemplo, previo al sismo de Haicheng, China de 1974, se observó que la actividad sísmica aumentó notablemente alarmando a la población hasta el punto de que abandonarían sus casas.

En otras ocasiones se ha observado una deformación rápida e importante de la superficie de la tierra, que el nivel y turbidez del agua freática cambia, trayendo como resultado variaciones notables en la resistividad eléctrica y magnetismo del subsuelo, y la emisión de gases inertes como el radón, inclusive, se ha reportado que algunos animales son sensibles a estos fenómenos, y que se inquietan antes de un sismo. Esta última observación, que hasta hace pocos años era considerada como mera creencia popular, ha comenzado a ser estudiada científicamente, sin haber podido descubrir todavía que fenómeno físico es el responsable de angustiar ciertos animales.

Desgraciadamente, los fenómenos anómalos que se registran previos a ciertos sismos no se repiten en otros. La existencia de sismos precursores que se reportan antes de muchos de los grandes temblores por ejemplo, no ocurren siempre. La predicción del sismo de Haicheng mencionada arriba, fue basada prácticamente en el aumento notorio de sismicidad que se observó en la falla pocos días antes del movimiento atemorizando a la población; como contraparte, antes del temblor del 19 de septiembre de 1985 no se observó ningún aumento en la sismicidad de la falla que produjo el sismo, ni por la población cercana al epicentro ni por los instrumentos de registro.

Seguramente, se necesitan varios años de investigación y observación para desarrollar métodos de predicción con alto grado de confiabilidad. Mientras tanto, nuestras mejores defensas ante los fenómenos sísmicos serán un buen tema de protección civil y el cumplimiento de normas y

procedimientos de construcción civil adecuados para las diferentes zonas sísmicas de México.

Chihuahua

A pesar de que el nivel de sismicidad en la provincia de Cuencas y Sierras - Río Grande Rift es baja, los parámetros de la fuente del sismo de Parral en 1928, indican que la extensión en las fallas normales está ocurriendo por lo menos muy al sur del sureste de Chihuahua. La longitud, profundidad y complejidad de la ruptura del sismo de Parral son similares a aquellos otros eventos de magnitud comparable que ocurrieron en la cordillera oeste de Estados Unidos. La atenuación de las intensidades en la región parece estar entre las relaciones desarrolladas para las provincias orientales de Estados Unidos.

El mecanismo del temblor de Parral sugiere orientación de la extensión noreste-suroeste. Esta orientación no es similar a la observada en los límites de la frontera norte de México, sin embargo, es similar a un tercio de las medidas en la vecindad de la depresión de Coahuila. El cambio en la dirección de la extensión puede representar la agonía de los esfuerzos de campo en la provincia de Cuencas y Sierras o esfuerzos de transición entre la extensión este - oeste observada al norte y la norte - sur observada al sur, en el cinturón volcánico central mexicano.

Una compilación de la sismicidad histórica del noreste de Sonora y noroeste de Chihuahua para el periodo 1887 - 1999 ofrece 64 eventos. La mayoría de la sismicidad está concentrada en la región epicentral del temblor de Bavispe del 3 de mayo de 1987, $M_w = 7.4$, el cual tiene la superficie de ruptura por falla normal más larga de la historia del sur de la provincia Cuencas y Sierras. El segundo temblor más grande en la región es el evento del 26 de mayo de 1907 en Colonia Morelos. Otros grupos de sismicidad han sido localizados en Valle de Guaymas y las regiones de Fronteras-Nacozari Cd. Juárez- El Paso y Granados- Huásabas.

Adicionalmente a estos movimientos, es importante destacar el temblor de Valentine Texas, en 1931, con efectos importantes en casi todo el estado de Chihuahua.

El evento de Parral de 1928 ocurrió en un sistema de fallas normales típicas noroeste-sureste localizadas en la orilla de la Sierra Madre Occidental. También se puede localizar un sismo de 4.1 en 1984 cuyo epicentro se localizó a 50 km. del evento de Parral. Respecto a los daños que causó el temblor de Parral en la Ciudad de Chihuahua, hay poco documentado en cuanto a los daños sufridos por los edificios debido a que en esos tiempos eran pocos, pero si hubo numerosos, se pueden citar los del edificio del Palacio de Gobierno, de donde se desprendieron grandes trozos de cantera, de las cornisas de los remates de los balcones: el central por la calle libertad y el de la calle Vicente Guerrero. De las cornisas de Catedral también se desprendieron algunos elementos de cantera y se cree que las torres sufrieron agrietamientos fuertes. El servicio telefónico se tuvo que interrumpir por algunos minutos, por daños en el equipo. Al parecer los aparatos sismológicos se descompusieron debido a la intensidad del fenómeno y no pudieron hacer el registro. Otros daños menores se presentaron, pero sin consecuencias graves.

El evento más reciente fue de 3.9 en 1991 y se localizó en la zona del Vallecillo a 32 km. de la Cd. de Chihuahua.

La Tierra es un planeta dinámico cuyos movimientos corticales continuarán, causando sismos de los cuales muchos pueden ser catastróficos. Aquellos edificios que se han construido siguiendo los reglamentos modernos, han tenido en su gran mayoría, un comportamiento satisfactorio ante esos sismos. Al contrario de los numerosos daños, que han experimentado las estructuras diseñadas y construidas con reglamentos de construcción antiguos o aquellas que no han seguido ningún código municipal.

Lo anterior tiene un importante significado: tanto la investigación como el intercambio de conocimientos y experiencias entre los investigadores y los ingenieros practicantes, han dado

buenos resultados. Por lo tanto, es necesario hacer la revisión y actualización del coeficiente de diseño para la Ciudad de Chihuahua, ya que el número de edificios importantes, desde el punto de vista de riesgo sísmico, está aumentando, y por otro lado, el reglamento no se ha actualizado desde hace varios años.

LOCALIZACIÓN DE SISMOS EN LA REGIÓN DEL ESTADO

En el estado de Chihuahua se han registrado varios sismos, algunos de los cuales han alcanzado cierta intensidad, causando apenas ligeros daños en algunos centros poblacionales. Esta relación histórica ya ha sido referida en el inciso anterior. Se puede decir que los sismos han ocurrido tanto en la Sierra Madre Occidental como en la zona desértica de la provincia fisiográfica de Sierras y Valles. Sin embargo, recientemente, durante fines de abril y mayo del 2011, ocurrió una serie de sismos casi día con día, distribuidos prácticamente en una zona relativamente pequeña con una extensión de unos 20 x 15 km, orientando su dimensión más larga al Norte y, ubicada en la porción centro-noreste de Chihuahua. Dado que la población más cercana a esta zona de sismos es la de El Porvenir, se ha utilizado este nombre para esta inusual serie de eventos sísmicos.

A continuación se presenta una tabla con los datos de algunos de los sismos registrados en esta zona en el año del 2011:

No.	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Prof.(km)	Mag.	Zona
1	2011-04-27	20:03:43	30.71	-105.56	10	4.3	144 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
2	2011-04-27	22:56:25	30.66	-105.52	10	4.1	151 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
3	2011-04-27	23:58:35	30.72	-105.55	10	4.1	144 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
4	2011-04-29	20:07:16	30.58	-105.45	20	4.4	150 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
5	2011-05-02	06:43:28	30.63	-105.49	20	4.5	156 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
6	2011-05-02	06:58:40	30.83	-105.73	20	4.1	124 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
7	2011-05-02	08:40:33	30.66	-105.58	5	4.2	147 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
8	2011-05-02	08:55:38	30.67	-105.56	30	4.4	148 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
9	2011-05-02	21:58:30	30.87	-105.49	20	4.5	135 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
10	2011-05-03	00:35:12	31.2	-105.81	5	4.1	88 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
11	2011-05-03	06:42:04	30.53	-105.42	7	4.1	152 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
12	2011-05-04	11:26:28	30.74	-105.65	10	4.3	137 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
13	2011-05-05	00:20:09	30.63	-105.54	5	4.4	153 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
14	2011-05-05	15:11:39	30.79	-105.56	46	4.2	137 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
15	2011-05-05	19:24:28	30.7	-105.62	13	4.1	142 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
16	2011-05-05	19:46:03	30.92	-105.7	22	4.1	117 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
17	2011-05-06	02:26:46	30.51	-105.37	15	3.9	139 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
18	2011-05-06	07:56:42	30.63	-105.33	26	4.0	148 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
19	2011-05-06	23:51:01	30.7	-105.59	10	4.1	144 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
20	2011-05-08	08:24:46	30.67	-105.1	15	3.7	139 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
21	2011-05-08	08:46:15	30.61	-105.29	15	3.6	143 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
22	2011-05-08	08:58:02	30.89	-105.64	15	3.6	124 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
23	2011-05-08	14:07:34	30.52	-105.18	15	3.8	129 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
24	2011-05-08	17:54:55	30.49	-104.99	20	4.0	116 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
25	2011-05-09	01:40:14	30.29	-105.01	16	3.9	99 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
26	2011-05-10	09:34:39	30.82	-105.59	5	3.9	133 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
27	2011-05-10	13:41:19	30.66	-105.42	16	3.8	156 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
28	2011-05-12	23:28:28	30.64	-105.36	15	3.9	150 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
29	2011-05-13	07:49:18	30.82	-105.28	16	4.0	153 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
30	2011-05-13	12:16:35	30.8	-105.56	10	3.8	137 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
31	2011-05-14	17:07:49	30.57	-105.33	15	3.9	142 km al NOROESTE de MANUEL OJINAGA, CHIH
32	2011-05-17	15:08:22	30.81	-105.63	10	4.0	132 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
33	2011-05-19	05:35:26	30.75	-105.44	20	3.8	149 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
34	2011-05-19	06:56:53	30.68	-105.51	24	4.2	155 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
35	2011-05-26	20:41:29	30.89	-105.64	7	4.1	124 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
36	2011-05-26	20:49:10	31.11	-105.66	8	4.1	105 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH
37	2011-05-29	16:34:03	30.71	-105.57	10	4.0	143 km al SURESTE de CD JUAREZ, CHIH

NEOTECTÓNICA EN CUENCAS Y SIERRAS.

En este caso la Neotectónica o “tectónica activa”, es una rama de la Geología que se encargaría de identificar, analizar e interpretar las evidencias sísmicas que han quedado plasmadas en el registro geológico y geomorfológico del Cuaternario y junto con la información paleosísmica poder estimar en cierto grado los posibles riesgos o peligros que puede sufrir la infraestructura y desarrollo de los centros poblacionales. Estos eventos sísmicos producen deformaciones en la corteza terrestre en un tiempo relativamente corto y perceptible en la superficie terrestre a escala humana. Es decir, en un período de décadas o bien varios cientos de años, que tienen especial importancia la planeación y construcción de presas, plantas de energía hidroeléctrica, nucleares, edificios, grandes obras de ingeniería como puentes, etc. Sin embargo, el estudio de la neotectónica debe comprender un marco de tiempo incluso mayor, varios miles de años, para obtener un conocimiento más completo de la tectónica activa, con el fin de mitigar los peligros asociados a la actividad sísmica. Por ejemplo: un terremoto sobre una falla en particular puede tener un período de retorno muy largo.

En el caso de la tectónica activa en el estado de Chihuahua, y principalmente dentro de la provincia fisiográfica de Sierras y Valles; se han reportado históricamente numerosos sismos que, aunque de baja intensidad, algunos de ellos si anticipan un cierto riesgo que debe ser tomado en cuenta en la planeación y desarrollo de la infraestructura asociada al crecimiento urbano y rural.

Cabe señalar que la tectónica activa ha dejado huellas o rasgos en muchos casos fáciles de distinguir a través de estudios geomorfológicos en las regiones sísmicas, siendo de gran ayuda el análisis del relieve topográfico bajo una gran cantidad de formas que reflejan la presencia activa de fallas y fracturas principalmente.

Después de la tectónica compresiva de finales del Mesozoico y principios del Terciario, se inicia la etapa de distensión con apogeo en el Mioceno; originando de esta manera la provincia fisiográfica de Sierras y Valles, que en su evolución tectónica reciente está dominada por un régimen de esfuerzos extensionales producidos por el Rift del Río Grande, cuya continuidad hacia el sur, penetra en territorio chihuahuense, desde los vecinos estados de Nuevo México y Texas en USA.

Los rasgos más notables de este tipo de tectónica extensiva, en su expresión geomorfológica, es claramente la individualización de los valles del Terciario-Cuaternario que constituyen la mayor parte de la mitad oriental del estado de Chihuahua. Es decir, extensos valles o fosas tectónicas rellenados por depósitos sedimentarios continentales, separados por unidades orográficas de rumbo prácticamente N-S, las cuales representan los bloques tectónicos levantados limitados por fosas que fueron ocupadas por grandes espesores de sedimentos, representados por varias facies fluviales y eólicas debidos, principalmente, a una tectónica lenta y continua, cuyos efectos aún prosiguen hasta el presente.

Cabe señalar que la tectónica activa ha dejado huellas o rasgos en muchos casos fáciles de distinguir a través de estudios geomorfológicos en las regiones sísmicas, siendo de gran ayuda el análisis del relieve topográfico bajo una gran cantidad de formas, que reflejan la presencia activa de fallas y fracturas principalmente.

En cuanto a las geoformas más frecuentes, en el caso particular de la provincia de Sierras y Valles, están asociadas en su mayor parte a esfuerzos tectónicos distensivos causantes de un fallamiento de tipo normal. A continuación, sin pretender hacer un análisis exhaustivo de la geomorfología de la región, se describen solo los rasgos geomórficos más notables, que tienen relación con la actividad tectono-sísmica reciente:

Valles longitudinales.- A escala regional, constituyen una de las características de la provincia mencionada, pues representan extensos valles elongados limitados por las sierras adyacentes, con

un rumbo NNO-SSE casi uniforme. A una escala más local se tienen números valles estrechos que normalmente se desarrollan en las zonas de falla, por ser generalmente más susceptibles a la erosión, siguiéndolas en su dirección por varios metros o kilómetros.

Drenaje desviado.- Frecuentemente, los cauces de arroyos o ríos son desviados al encontrar en su curso una zona de falla o fractura, siguiéndola por una cierta distancia para retornar después a su orientación inicial. Esto se observa fácilmente mediante cambios bruscos en la dirección del cauce bajo la forma de un codo a ángulo recto, o bien, oblicuo. Los cambios de dirección en el drenaje, sobre todos aquellos, que integran los abanicos aluviales, son indicativos de movimientos tectónicos recientes asociados a sismos. Sin embargo, puede darse el caso particular de arroyos o ríos desplazados por una falla activa, indicando de esta manera la dirección horizontal del movimiento. En algunos casos de desplazamiento por falla de un cauce, este puede optar por seguir a rumbo de la falla, ocasionando la mutilación o “decapitación” del arroyo inferior.

Escarpes.- Las sierras que limitan los extensos valles aluviales de la porción oriental del estado de Chihuahua, normalmente, presentan un frente escarpado, denotando la acción erosiva sobre los bloques afallados, teniendo en algunos casos, como evidencia de la zona o plano de falla, las denominadas facetas triangulares. Sin embargo, movimientos recientes asociados a sismos pueden generar pequeños escarpes, sobre todo, en los depósitos de abanicos aluviales, alterando desde luego la red de drenaje. Cabe señalar como ejemplo, un pequeño y continuo escarpe, que se localiza en los abanicos aluviales que están al pie de la sierra El Porvenir, y corre por varios kilómetros bordeando al río Bravo.

Depresiones lagunares .-En los flancos montañosos afallados, pueden estar presentes, al pie de los mismos y bordeándolos, zonas lagunares de forma elongada en las zonas de falla.

Manantiales .- Son frecuentes a lo largo de las zonas de falla, sobre todo hacia la base de los escarpes. La falla de por sí., puede representar una barrera impermeable que obligue al agua del subsuelo a emerger en ciertos puntos zonas de la falla, normalmente como manantiales termales. En el caso de Chihuahua, son abundantes este tipo de manantiales, siendo notables los de San Diego de Alcalá, Camargo, Jiménez y Maguarichic entre otros.

Lomeríos desplazados.-En la zona de falla, al pie de las sierras pueden presentarse lomeríos desplazados es decir, lomeríos que se alinean en ángulo recto a la zona de la falla, los cuales constituyen parte del drenaje de las laderas más bajas del flanco de las sierras. De la misma manera, algunos lomeríos se alinean paralelos a la zona de falla, que incluso bloquean y desvían localmente la dirección del drenaje.

Bancos o bordes de presión .-Cuando ocurren múltiples fallas puede darse el caso de compresión entre ellas, expresándose morfológicamente como lomeríos bajos alineados a lo largo de ellas. Los rasgos geomorfológicos descritos anteriormente, no comprenden la totalidad de las geoformas provocadas por la actividad tectónica reciente, solamente se han destacado las más frecuentes, y desde luego en el particular caso de una tectónica en su etapa de distensión como es, el de pilares y fosas tectónicas, que originan la geomorfología de la actual provincia de Cuencas y Sierras.

Como se ha mencionado en incisos anteriores, en el estado de Chihuahua se han registrado sismos de relativa importancia, como el ya citado en su oportunidad, en la región de Hidalgo del Parral, que afectó algunas construcciones. Igualmente, se cita el sismo de Valentine (1937), en el vecino estado de Texas en EUA, pero, muy cercano al río Bravo, frontera con Chihuahua, causando ciertos daños en la población de El Paso, Tex.

Sin embargo, es importante destacar, que en el año 2011, precisamente entre los meses de abril y mayo, se registró una gran cantidad de eventos sísmicos en el NNE del estado de Chihuahua,

localizados en su mayor parte en una zona situada casi a la mitad de la distancia que separa las ciudades de Juárez y Ojinaga, ambas en la frontera con Texas. El enjambre sísmico comprende alrededor de 37 eventos (de acuerdo con el SSN) con magnitudes entre 3.6 y 4.5 y con profundidades del hipocentro variables entre 30 y 5 km. Los epicentros se ubican básicamente dentro de una zona limitada por las siguientes coordenadas geográficas: 105°40' y 105°47' Longitud Oeste, 30°38' y 30°48' Latitud Norte. Localmente esta zona se localiza al suroeste de una extensa sierra de gran longitud, con rumbo NNO-SSE, que se conoce en la región con varios nombres: sierra San Ignacio (en extremo NNO) - El Porvenir -San José del Prisco-Las Vacas (en el extremo SSE), bordeando el río Bravo a lo largo de unos 120 km. Esta sierra en su porción central llega a tener una anchura de alrededor de 15 km (sierra San José del Prisco).

Un análisis morfo-genético preliminar del área sísmica reportada, permite observar algunas de las geoformas antes mencionadas causadas por una tectónica activa reciente, por ejemplo; escarpes, drenaje desviado o alineado a las líneas de falla y fractura, en este último caso, se observa un drenaje con quiebres o rectangular, valles estrechos o angostas cañadas, etc. Sin embargo, para tener un mejor entendimiento de la tectónica activa y las geoformas resultantes, se requiere de un análisis geomorfológico exhaustivo tomando en cuenta información topográfica y geológica disponible, imágenes satelitales y desde luego la estrecha relación con las componentes geofísicas de los sismos, como las profundidades de los hipocentros, ubicación de los epicentros y su relación con los rasgos estructurales tectónicos.

Al sureste de la porción central de esta sierra y al NE de la sierra o distrito minero Los Lamentos ocurrieron la mayor parte de los sismos, en una extensa llanura de una altitud de unos 1550 msnm, la cual prácticamente representa un parteaguas, del cual se desprenden arroyos de manera radial apenas perceptible dada topografía tan suave de la zona. Muchos de los sismos se ubican en una llanura situada al oeste de una pequeña sierra delgada y de forma longitudinal con rumbo ligeramente alabeado N-S, conocida como sierra El Perdido, presentando un flanco occidental muy escarpado debido aparentemente a un fallamiento de tipo normal, que probablemente esté siendo reactivado por los sismos ocurridos. Al NE de la sierra El Perdido y dentro de la zona de sismos nace la cuenca del arroyo Los Frailes, que separa a las sierras San José del Prisco y Las Vacas. Precisamente la cabecera de esta cuenca nace en una zona de falla normal en donde es fácil observar geoformas alineadas con un rumbo NNO-SSE; cabe señalar que el arroyo Los Frailes se desarrolla perpendicularmente al rumbo de la falla antes citada, ocasionado por fallas con una fuerte componente horizontal de desplazamiento. Otros sismos ocurridos en el período de tiempo señalado, se ubican al oeste del río Bravo, en los abanicos aluviales situados al pie del flanco oriental de las sierras El Porvenir-San José del Prisco-Las Vacas, donde frecuentemente se observan líneas de falla en contacto directo con los sedimentos aluviales Terciario-Cuaternarios, destacando notablemente pequeños escarpes que se extienden longitudinalmente por decenas de kilómetros. En éste sentido, se destacan las fallas El Porvenir-Cajoncitos y Pilares (SGM, Carta Geológica H13-5) y otras más a lo largo del río Bravo.

ESTADO ACTUAL DE LOS REGLAMENTOS MUNICIPALES PARA LA CONSTRUCCIÓN EN LAS CIUDADES DE CHIHUAHUA Y JUÁREZ, RESPECTO A LA SISMICIDAD.

Las disposiciones de los reglamentos relativas al diseño sísmico, están especialmente dirigidas hacia el logro de un desempeño estructural adecuado, en las zonas que están expuestas a sismos intensos, además de alentar la mitigación sísmica mediante una buena práctica profesional de los

ingenieros al demandar una mejor calidad en la construcción, con el fin de lograr el nivel esperado de la seguridad estructural y el desempeño sísmico.

Aún cuando diariamente ocurren muchos sismos alrededor del mundo, aquellos muy intensos son poco frecuentes en un mismo sitio.

En el caso de la ciudad de Chihuahua, un sismo muy intenso puede tardar decenas o cientos de años para presentarse, por lo que es muy baja la probabilidad de que un gran sismo se presente durante la vida útil de la estructura. Sin embargo, dado que ciertas partes de la región del estado se han visto sometidas a sismos importantes en los últimos 100 años, los efectos por sismo, en el diseño de estructuras para la Ciudad de Chihuahua, deberán tomarse en consideración.

En Ciudad Juárez aquellos edificios que se han construido siguiendo los reglamentos modernos, han tenido en su gran mayoría, un comportamiento satisfactorio ante los sismos, al contrario de los numerosos daños, que han experimentado las estructuras diseñadas y construidas con reglamentos de construcción antiguos o aquellas que no han seguido ningún código.

Lo anterior tiene un importante significado: tanto la investigación como el intercambio de conocimientos y experiencias entre los investigadores y los ingenieros practicantes, han dado buenos resultados. Por lo tanto, es necesario hacer la revisión y actualización del coeficiente de diseño para Ciudad Juárez, ya que el número de edificios importantes, desde el punto de vista de riesgo sísmico, está aumentando, y por otro lado, el reglamento no se ha actualizado desde hace varios años.

Los resultados del diseño por sismo en el Estado de Chihuahua, usando los códigos locales, difieren en algunos casos, con los resultados de los códigos nacionales e internacionales. Por esta razón es necesario hacer una revisión y actualización del coeficiente sísmico, tomando en cuenta los últimos movimientos del terreno en esta zona, así como también los avances técnicos en ésta materia.

CONCLUSIONES

El Estado de Chihuahua no está ajeno a los cambios dinámicos de la corteza terrestre. En este sentido, la región ha estado sometida a sismos importantes en los últimos 100 años, como es el caso del temblor de Bavispe en 1887; el temblor de Parral en 1928; y el temblor de Valentine en 1931. Por tal motivo se deben tomar en consideración estos efectos en el diseño de estructuras para Chihuahua.

La aceleración del terreno calculada para la Ciudad de Chihuahua usando el modelo de línea propuesto por A. Der Kiureghian es de 28.7 cm/seg², tomando en consideración la región completa de 500 km de radio alrededor de la Ciudad de Chihuahua y un periodo de retorno de 50 años.

La aceleración, velocidad y desplazamiento máximos de diseño resultaron de 42 cm/seg², 1.9 cm/seg. y 0.7 cms, respectivamente, considerando una región de 200 km. de radio y un coeficiente de amortiguamiento de 5%. Estos valores deberán incrementarse en un 50% para periodos de retorno de 100 años.

El diseño por Sismo para la Ciudad de Chihuahua deberá basarse en un espectro de diseño y deberá incrementarse en un 25% para el resto del estado, tal es el caso del área cercana a Ciudad Juárez.

La aceleración del terreno calculada para Ciudad Juárez usando el modelo de línea propuesto por A. Der Kiureghian es de 35.87 cm/seg², tomando en consideración la región completa de 500 km de radio alrededor de la Ciudad y un periodo de retorno de 50 años.

La aceleración, velocidad y desplazamiento máximos de diseño resultaron de 52 cm/seg², 2.3 cm/seg. y 0.87 cms, respectivamente, considerando una región de 200 km. de radio y un coeficiente de amortiguamiento de 5%. Estos valores deberán incrementarse en un 50% para periodos de retorno de 100 años.

Es necesario definir valores del coeficiente sísmico para las diferentes zonas del Estado, debido a que los códigos nacionales son conservadores para algunos puntos específicos.

El hecho de que el Estado de Chihuahua se encuentre en una región con una sismicidad muy peculiar, y de que no se tiene un registro más o menos detallado de su actividad local, se justifica la creación e instalación de una red telemétrica sísmica en el Estado, lo que obedece a objetivos específicos y prioritarios.

Los objetivos más generales que se persiguen son: el monitoreo de la sismicidad en el estado, particularmente en la zona central que cubrirá la red; y la determinación de las características y comportamiento tectónico de la región en la que se encuentra el estado, lo que implica acercarse al conocimiento de la distribución y ocurrencia de sismos, y analizar la actividad de las estructuras involucradas en los eventos.

Dentro de los objetivos particulares se pretende analizar algunas estructuras y zonas específicas, y estudiar la zona cercana a la falla de Bavispe, que es una zona donde en cierto período de tiempo se espera que ocurra un gran sismo, ya que en el pasado hubo eventos de magnitud considerable.

Los puntos donde se recomienda instalar los sismógrafos serán con base en la cobertura de un área de interés; primero, cubriendo los posibles elementos dinámicos causantes de sismicidad, que podrían ser en Madera o Casas grandes, Ojinaga, Parral, y otra en la Ciudad de Chihuahua, donde se localizará la central del registro.

REFERENCIAS

- Ander, M. E., 1981, Geophysical study of the crust and upper mantle beneath the central Rio Grande Rift and adjacent Great Plains and Colorado Plateau, Los Alamos Sci. Lab. Rep. UC-66 b, 218 p.
- Brown, L. D., 1979, COCORP seismic reflection studies of the Rio Grande Rift, Am. Geoph. Un., Int. Symp. on the Rio Grande Rift, Rio Grande Rift: Tectonics and Magmatism, p. 169-184.
- Cook, F. A. et al., 1979, Cristal structure and evolution of the Southern Rio Grande Rift, Am. Geoph. Un., Int. Symp. on the Rio Grande Rift, Rio Grande Rift: Tectonics and Magmatism, p. 195-208.

- Chapin, C. E., Seager, W. R., 1975, Evolution of the Rio Grande Rift in the Socorro and Las Cruces areas, New México Geol Soc., Guidebook, 26th Field Conference, p. 297-321.
- Demant, A. y Robin, C., 1975, Las fases del volcanismo en México; una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico, Revista del Inst. Geol., U.N.A.M., 75 (1), México, p. 70-83.
- McDowell, F.W. & Clabaugh, S.E., 1979, Ignimbrites of the Sierra Madre Occidental and their relation to the tectonic history of western Mexico, Geol. Soc. Am., Sp. Pap. 180, pp. 113-124.
- Olsen, K. H., 1995, Continental Rifts: Evolution, Structure, Tectonics, Elsevier, Ámsterdam, pp. 466.
- Seager, W. R. and Morgan, P., 1979, Rio Grande Rift in Southern New México, west Texas and northern Chihuahua, Am. Geoph. Un., Int. Symp. on Rio Grande Rift, Rio Grande Rift: Tectonics and Magmatism, p. 87-106.
- Stuart, Ch. J., 1981, Yunt's hole maar volcano, Doña Ana County, south central New México, El Paso Geol. Soc. Field Trip Guidebook, Geology of the Border, Southern New México-northern Chihuahua, p. 64-72.