

LA CONSTRUCCION Y EL USO DEL TERRENO EN GUATEMALA

- SU VULNERABILIDAD SISMICA -

Héctor Monzón-Despang¹

Asociacion Guatemalteca de Ingenieros Estructurales²

Los comentarios que se presentan en este artículo son opiniones del autor y no necesariamente reflejan la posición de AGIES, la cual delegó en uno de sus miembros la autoría de un diagnóstico sobre la vulnerabilidad sísmica en el país.

RESUMEN

Guatemala parece ser, en vulnerabilidad sísmica como en otros aspectos, país de extremos y altos contrastes. Como marca y sello parece haber una actitud entre confiada y apática.

Hay desorden y falta de una política orientadora. En efecto, somos el último país altamente sísmico de las Américas que no tiene una norma de construcción sísmo-resistente a la cual acogerse. Ni siquiera tenemos una norma estructural general. Pero no tener norma no es sinónimo de ingeniería inadecuada. Simplemente es síntoma de desorden y exceso de confianza. Asimismo no toda la construcción puede calzarse dentro de normas en un país donde abunda la auto-construcción y la construcción empírica. Estas requieren otro tipo de orientación por medio de educación y divulgación. Sin embargo tampoco hay políticas continuadas de orientación. De manera que en este país se encuentra de todo. Desde excelencia en construcción hasta construcción altamente vulnerable. Desafortunadamente no distinguimos entre las dos.

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica de la construcción edil ? Abarca todos los matices posibles. Comprende desde el sistema más vulnerable de todos, el adobe, hasta el menos vulnerable, la mampostería reforzada aplicada por ingenieros, arquitectos y constructores empíricos a construcciones de una y dos plantas. En situación intermedia hay de todo. Se da la alta vulnerabilidad de edificios de concreto reforzado frágil, unos construidos en una etapa tecnológica anterior y otros recientemente, por ignorancia y falta de normas. Están las plantas industriales y agroindustriales donde la maquinaria y

¹ Ingeniero Civil, Ph.D., Miembro Fundador de AGIES, se dedica a la práctica privada de la consultoría estructural en Guatemala, es Profesor Asociado a La Universidad del Valle de Guatemala

² AGIES - en formación, personería jurídica en trámite.

el equipo son los que suelen estar deficientemente instalados sin que exista una conciencia de ello. Están las situaciones donde, por falta de normas, se exceden las capacidades de sistemas que en un contexto normal tienen baja vulnerabilidad sísmica; tal el caso de muchas bodegas y galpones y no pocas residencias de lujo. Por la otra parte, construcciones mayores, con miles de metros cuadrados se han ejecutado con la mejor tecnología disponible y con toda probabilidad tienen una baja vulnerabilidad sísmica estructural aunque la vulnerabilidad de los acabados modernos y los acabados en general, como los usamos aquí, necesitan pasar el riguroso examen de un futuro sismo intenso.

¿ Y cuál es la vulnerabilidad sísmica originada por la situación del terreno ? Hay una variedad grande de potenciales problemas sísmicos originados por las condiciones del subsuelo que aunque no sean generalizados si pueden afectar seriamente algunas zonas urbanas. Se incluye derrumbe de laderas, fisuración del terreno, rotura superficial de falla, licuación del terreno, asentamiento del suelo. El problema actual es que no están claramente identificados ni hay un esfuerzo sistemático por localizarlos. Es frecuente que se ignore por completo el hecho de que los problemas del suelo existen. Otras veces parece más cómodo que la localización de los problemas de subsuelo no se investigue, no por ocultamiento activo sino por pasividad y apatía; ¿ qué puedo hacer yo si otros no se ocupan de investigarlo?

¿ La infraestructura vial, hidráulica, eléctrica y de comunicaciones ? Literalmente a su suerte: hay poca atención sistemática a la condición sismo-resistente de la infraestructura del país, especialmente en lo que atañe a su funcionamiento bajo condiciones adversas causadas por los sismos.

¿ La situación del propietario/usuario de las edificaciones ? Incierta, porque la sismo-resistencia no se ve. Pocos usuarios cuestionan los sitios donde viven o trabajan, menos aquellos que utilizan sólo transitoriamente. El estado ofrece poca garantía porque no tiene normas ni procedimientos que califiquen la vulnerabilidad sísmica.

¿ La situación del diseñador/constructor de las edificaciones ? Incierta, porque no tiene términos de referencia. Parece cómodo porque no tiene obligaciones legales precisas. Pero es riesgosa porque no tiene como ampararse objetivamente al tomar sus decisiones; éstas pueden quedar sujetas a cuestionamiento futuro de haber problemas imprevistos.

¿ El papel de las Universidades en estudiar nuestra sismicidad y las maneras de reducir la vulnerabilidad sísmica ? Con excepciones. modesto; poco publicitado.

¿ Y el papel del Estado en promover estudios y normas ? Escaso.

INTRODUCCION

Este artículo está planteado como un diagnóstico de la vulnerabilidad sísmica de la construcción en Guatemala a veinte años de ocurrido el Terremoto de Guatemala de 1976.

En opinión del autor de este diagnóstico, en Guatemala se tiende a considerar que la solución al problema sísmico se satisface con lograr buena práctica de ingeniería en los proyectos nuevos que se van construyendo. Es una actitud entre confiada y apática. Tanto

es así que en el país no hay una norma oficial de construcción sismo-resistente. Tampoco hay una norma recomendada de referencia auspiciada o avalada por una institución de peso en el país. El problema se soluciona confiando en el criterio de los diseñadores y los ejecutores. El Terremoto de 1976 vino a reforzar este estado de las cosas a causa del aparente éxito de la construcción ejecutada por profesionales, situación para la cual hubo buenas razones en numerosos casos pero que no justifica la ausencia de una normativa que ampare al usuario y que proteja al profesional ejecutor al darle un lineamiento en el cual respaldarse.

La frase "aguantó el 76" viene a otorgar certificado de invulnerabilidad sísmica a numerosas edificaciones bien ejecutadas en su momento. Desafortunadamente, también otorga certificado de invulnerabilidad a mucha obra que es peligrosa o mal ejecutada, pero por razones de ubicación geográfica o azar de respuesta dinámica sobrellevó el histórico evento sin daño evidente.³

En resumen, en Guatemala hay unas cosas bien y bastantes no tan bien. El texto de este artículo trata de presentar un panorama nacional. No es necesario leerlo de corrido. Si se recorren los títulos y subtítulos se podrá localizar aspectos de interés para cada lector; casi cada párrafo está subtítulo con este propósito.

Los temas principales son LA SISMICIDAD EN GUATEMALA, PELIGROS SISMICOS CONEXOS, LA CONSTRUCCION DE EDIFICACIONES EN GUATEMALA, DIAGNOSTICO Y READECUACION DE EDIFICACION EXISTENTE, REDES Y SISTEMAS DE INFRAESTRUCTURA, INSTALACIONES INDUSTRIALES Y AGROINDUSTRIALES Y las conclusiones.

LA SISMICIDAD EN GUATEMALA

Fuentes sismogénicas

³ No todos los sismos son iguales en características de vibración y su intensidad local puede variar en forma inesperada. Ciertas familias o grupos de edificaciones pueden sufrir poco daño en un sismo y mucho en el siguiente. Entre uno y otro sismo la opinión pública y aún la opinión profesional puede sobre-valorar edificaciones que en realidad tienen alta vulnerabilidad.

El país se localiza en el área de convergencia de tres placas tectónicas. La frecuencia de sismos dañinos es, históricamente, relativamente alta, sobre todo si se toma en cuenta la pequeña extensión territorial del país que es poco más de 100,000 km². Los sismos pueden provenir de numerosas fallas geológicas, tal como se ilustra en la Figura 1. Las fuentes simogénicas se agrupan en tres familias: La llamada *zona de fallas transcurrancia* que atraviesa la franja central del país, de Izabal a Huehuetenango; genera devastadores sismos superficiales entre los cuales se cuentan los terremotos de 1976 y 1816 (Figura 2a). También está la llamada *zona de subducción*, debajo de la costa sur del país genera constantemente sismos de magnitud pequeña e intermedia a cierta profundidad bajo la superficie; ocasionalmente genera sismos de gran magnitud, relativamente profundos, que pueden afectar áreas de miles de kilómetros cuadrados entre los que se cuentan los terremotos de 1773 y 1902 (Figuras 2b y 2c). Por último están los *sismos locales* que se originan en la altamente fallada corteza continental sobre la zona de subducción y entre la zona de transcurrancia; estos sismos superficiales, aunque de limitada extensión, suelen ser muy intensos y destructores, ocurriendo en sitios muchas veces inesperados; el país tiene una larga lista de este tipo de eventos entre los que se cuentan los terremotos de Guatemala de 1976 y San Salvador en 1985

Percepción del problema sísmico:

Los sismos dañinos son más frecuentes de lo que usualmente se piensa: Resulta claro de lo expuesto anteriormente, que la incidencia de sismos significativos a nivel de país sea mayor que lo que el público suele pensar. Recapitulando sobre las figuras 2a, 2b y 2c, muestran los sismos significativos ocurridos en los últimos tres siglos generados en la zona de transcurrancia y en la zona de subducción - al menos 10 en el territorio nacional. Este número de 10 en 278 años nos da un intervalo medio de uno cada 28 años que es mucho más frecuente que el famoso intervalo de 50 años que a la voz popular y a no pocas voces cultivadas les gusta citar. Y la cuenta anterior no incluye una larga lista de sismos locales entre dañinos y altamente dañinos entre los que se contarían los de 1945 en Bananera, 1917 en la capital, 1913 en Cuilapa, 1888 en Amatitlán, etc, etc.

El riesgo sísmico viene en aumento: Muchos de los grandes eventos como los de la Costa Sur en 1942 y 1862 serían hoy en día más dañinos de lo que pudieron ser en su época por el aumento de población y de instalaciones industriales en la zona en que ocurrieron; esto ilustra con claridad que, si bien la amenaza sísmica (o sea la tasa de ocurrencia de sismos) puede considerarse constante a lo largo de nuestra historia, el riesgo sísmico ciertamente viene en aumento al extenderse la población y aumentar el número de personas e infraestructura expuestas a los sismos. Este es ciertamente un factor a tomar en cuenta al evaluar la sismicidad histórica y proyectarla al futuro.

El área propensa a sismos es mayor de lo que usualmente se supone: A nivel público, existe una distorsión en la percepción del área sísmica. Esta frecuentemente se asocia con el altiplano central y occidental, aunque el sismo de 1976 vino a ampliar esa área para incluir la franja del Motagua. La realidad incluye, no sólo la Costa Sur sino la franja Huehuetenango, Quiché, Verapaces e Izabal. La Figura 3a ilustra más claramente la extensión del área expuesta a sismos. La Figura 3b intenta mostrar una distribución de la conciencia pública sobre el área expuesta. Es necesaria más educación y divulgación en este aspecto. Y por supuesto, se necesita más investigación científica para confirmar o refinar la información disponible y generar nueva.

Los terremotos ignorados y los olvidados. La escasa densidad de población en épocas anteriores en determinadas áreas como el litoral costero sur contribuye al desconocimiento o distorsión de las áreas de amenaza, ya que por no haber daños extensos se ignora el evento o no se le da importancia. Tal vez por ello el gran sismo de 1816 (Figura 2a), se recuerda en el estado mexicano de Chiapas, donde afectó centros urbanos, pero está prácticamente olvidado en Guatemala donde afectó numerosas poblaciones mayoritariamente indígenas y por añadidura "remotas" (es decir, no afectó a los capitalinos). De estar ese sismo a flor de labio del guatemalteco (como lo está el sismo de 1773 que destruyó la capital en el centro del país) tal vez sería otra nuestra actitud al pensar en la sismicidad del nor-occidente de Guatemala.

Evaluación cualitativa y cuantitativa de la sismicidad

La evaluación de la amenaza sísmica es crucial para el proceso de planificación y para el diseño estructural. En Guatemala desde hace casi veinte años se ha venido estableciendo el esquema sismo-tectónico general. Tal esquema ha venido afinándose constantemente aunque faltan numerosos detalles importantes por dilucidar o por investigar. Para ello se necesitan estudios geológicos y geográficos y redes adecuadas de instrumentos.

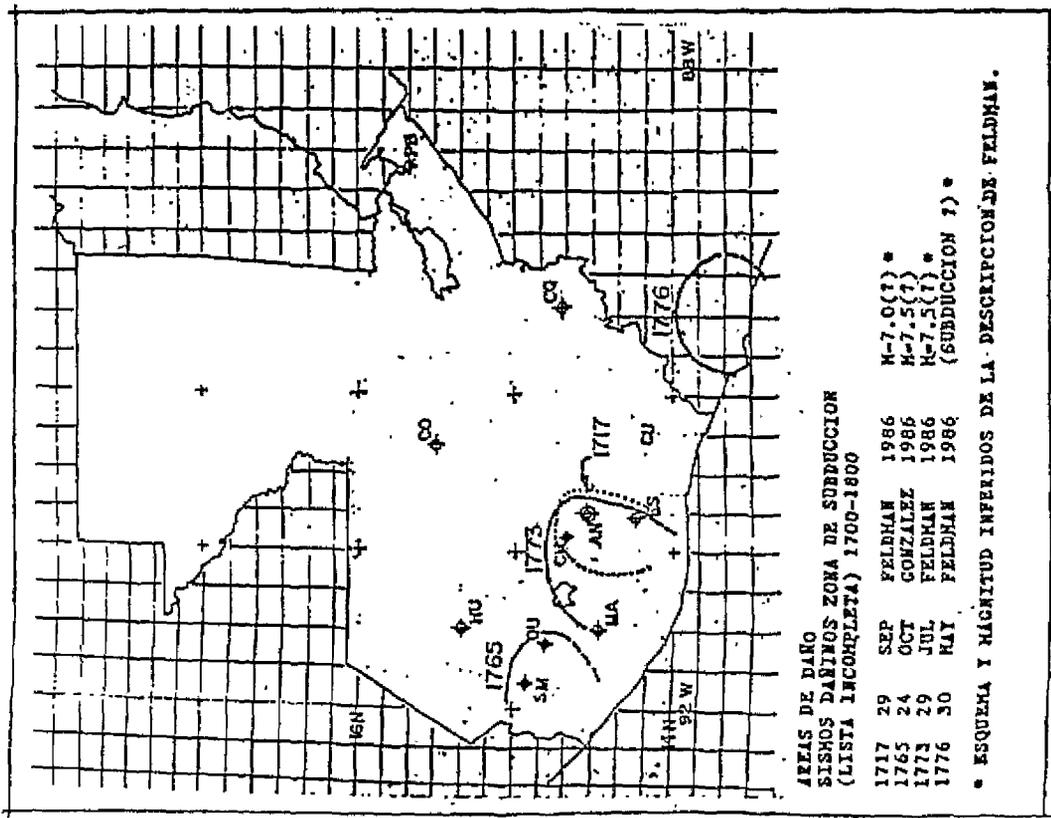
Las siguientes apreciaciones se hacen desde el punto de vista del planificador y el ingeniero que necesitan la evaluación precisa de la amenaza sísmica en Guatemala.

Una red de sismógrafos que ha colapsado: La red sismológica del instituto nacional de sismología INSIVUMEH que se inició formalmente hacia 1978 ha producido datos importantes sobre el grado de actividad de fuentes sismogénicas; la red nunca creció lo suficiente para dar cobertura geográfica homogénea, y desde hace unos diez años a venido en franco deterioro. Hoy día está virtualmente inoperante. Los estudios recientes de amenaza sísmica dependen nuevamente, como antes de 1980, de los listados de la Red Sismológica Mundial.

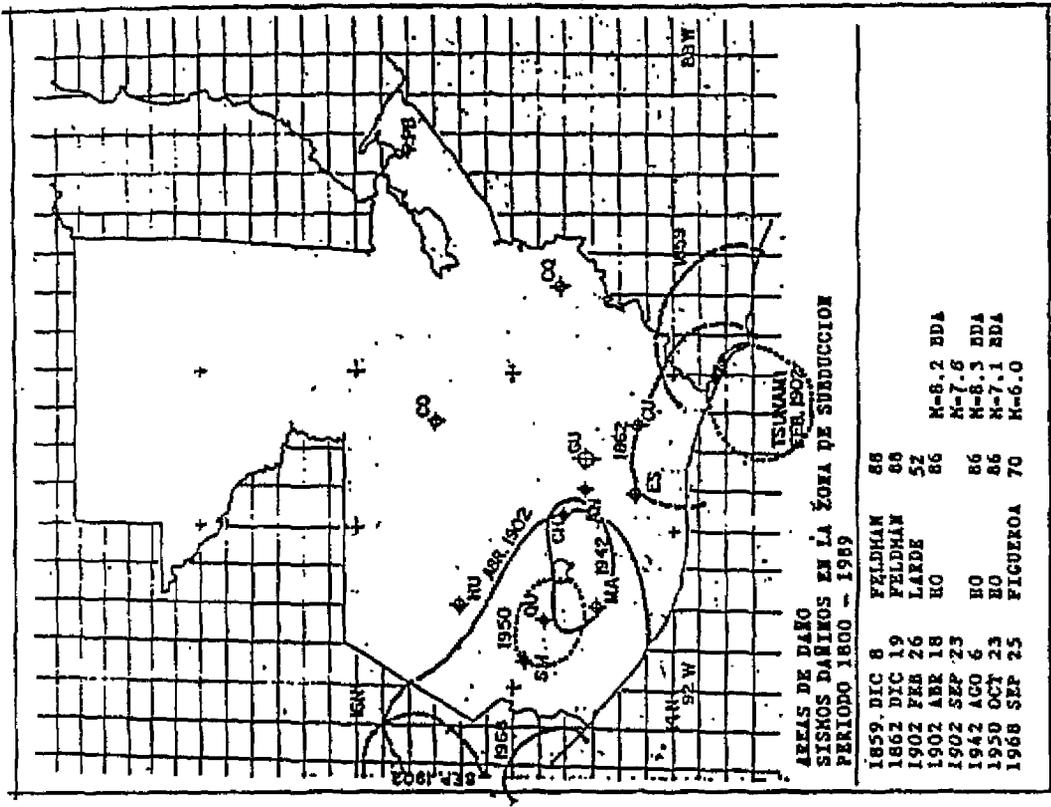
Carencia de acelerógrafos: Requeridos para registrar el movimiento del suelo durante un terremoto, la información que recogen no se puede sustituir por registros telemétricos. Este tipo de red no existe en Guatemala. Hay apenas uno o dos instrumentos en funcionamiento. Guatemala está literalmente a la zaga de los países sísmicos en estos registros cruciales para su ingeniería.

Investigación histórica de eventos sísmicos pasados. es una de las más valiosas fuentes de información; en Guatemala ésta ha sido auspiciada por el U.S Geological Survey en cooperación con INSIVUMEH. Otras instituciones como la Universidad de San Carlos y la Sociedad de Geografía e Historia han efectuado o apoyado la investigación histórica.

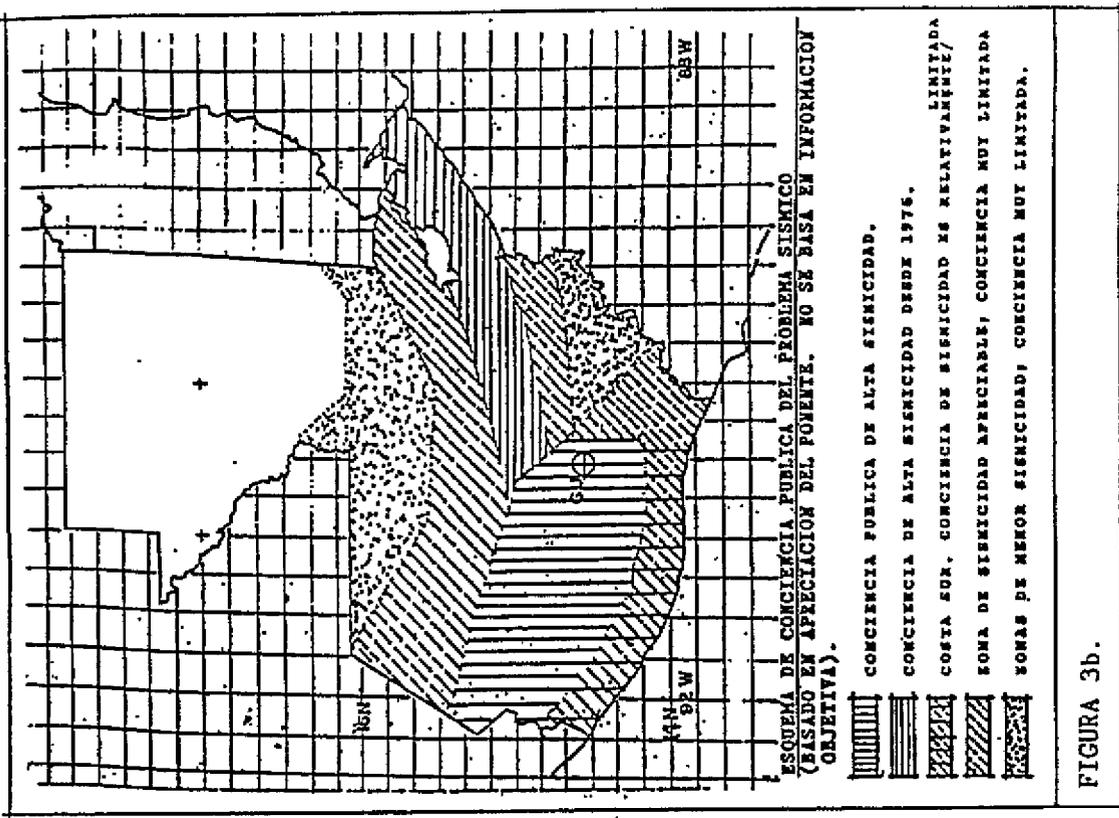
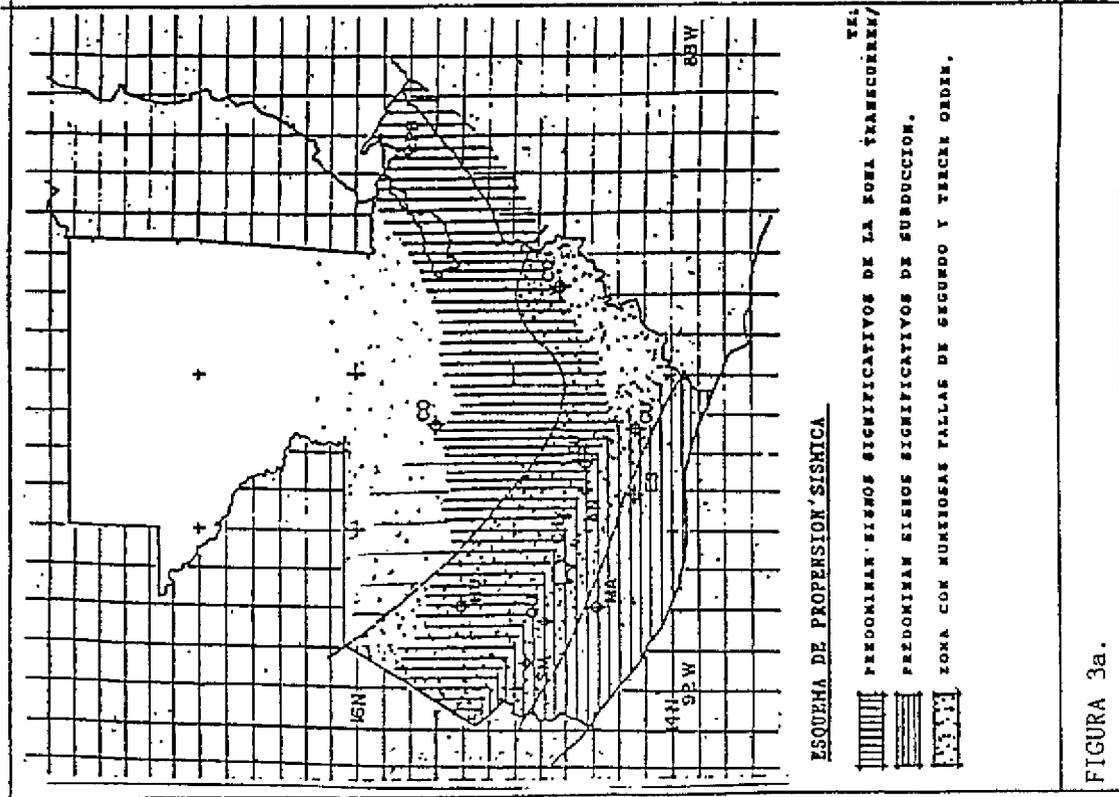
Avances en la distribución y cuantificación de la sismicidad: Por lo menos cinco estudios formales se han hecho para evaluar numéricamente parámetros sísmicos utilizables para diseño sismo-resistente además de evaluaciones específicas para sitios de proyectos importantes.



TERREMOTOS HISTORICOS DE SUBDUCCION
FIGURA 2b.



TERREMOTOS HISTORICOS DE SUBDUCCION
FIGURA 2c.



El primer estudio (Kiremidjian et al, 1978), promovido por L.F.Mérida y financiado por varias instituciones nacionales, se basa únicamente en registros instrumentales telemétricos de la base de datos del Servicio Geológico de los E.U.A. El segundo estudio es a nivel país (Monzón, 1984), auspiciado por GTZ de Alemania y el instituto de electrificación INDE incluye información sísmica histórica además de la información instrumental anterior. Más recientemente se han efectuado estudios adicionales de amenaza sísmica, dos de ellos bajo los auspicios de institutos noruegos (Villagrán et al, 1994 para la C. de Guatemala y Ligorria, 1995 para el país). Otro estudio para el valle central que debe mencionarse fue hecho en el CESEM de la Universidad de San Carlos (Tobar et al, 1993).

Parámetros para usos de ingeniería estructural: Para el proyecto de Normas Sismo-resistentes (1988, 1995 - véase Referencia AGIES NR 1-96) y que se describe más adelante, en la sección dedicada a Construcción de Edificaciones se adaptó y adoptó un mapa de macrozonificación sísmica mostrado en la Figura 4 y basado en la información disponible. El patrón de distribución es consistente con Monzón, 1984 y Ligorria, 1995; la intensidad sísmica es consistente con Monzón, 1984 y Tobar et al, 1993⁴. La macrozonificación se ha asociado con espectros de diseño tomados de CEB, 1987 lo que se ha considerado apropiado hasta que haya suficiente información acelerográfica u otra información válida que se haga disponible. Zonificaciones piloto de perfiles de suelo para selección del espectro de diseño se han propuesto ya en forma incipiente (Monzón, y Molina, 1989)

PELIGROS SISMICOS CONEXOS

En Guatemala hay numerosos peligros sísmicos aparte de la vibración del suelo. A continuación se describen los más significativos

El peligro conexo más común y generalizado:

⁴

Los dos estudios auspiciados en Noruega arrojan resultados mas altos que el nivel comunmente utilizado en Guatemala - que de por sí no es tan bajo, de manera aún hay trecho que avanzar en la evaluación de amenaza sísmica. Lo que sí aparece consistente es la distribución de esa amenaza.

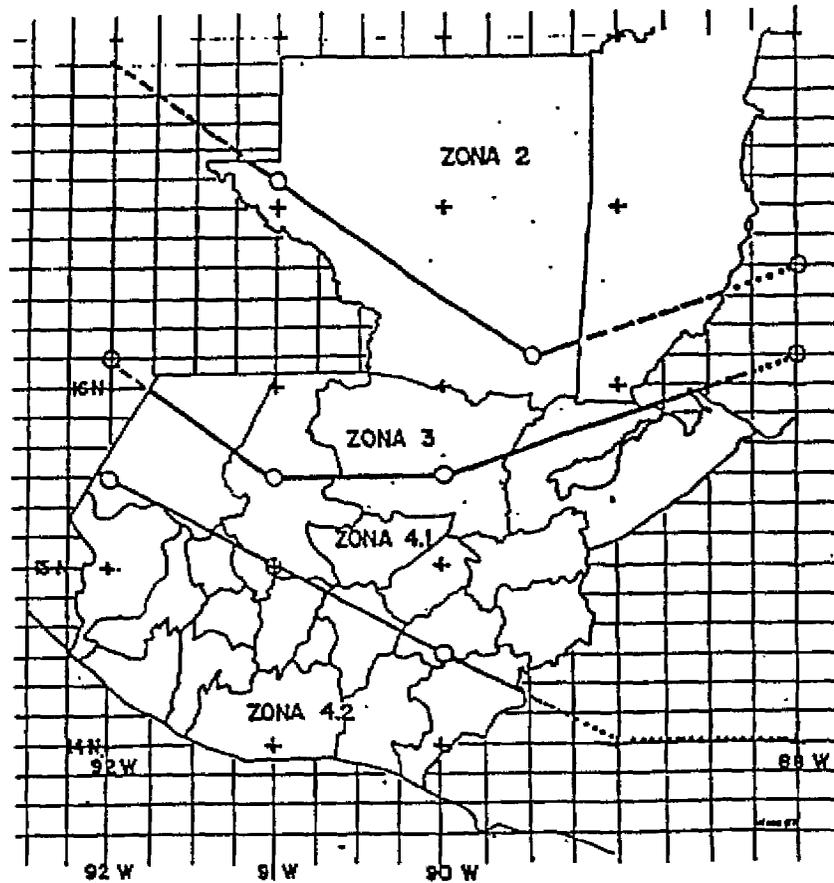
derrumbes de laderas de cerros y barrancas

Los derrumbes de las empinadas laderas que el suelo guatemalteco permite son el problema sísmico conexo más característico del país. Casi todos los valles y quebradas del altiplano guatemalteco están rellenos de cenizas y arenas volcánicas geológicamente recientes. Estos depósitos pueden tener decenas y aún centenas de metros de espesor. Suelen ser densos y firmes pero son fácilmente erosionables por lo que las corrientes de agua excavan profundos barrancos en ellos. Las paredes de estos barrancos tienen pendientes muy pronunciadas porque las particulares características de la ceniza volcánica, en algunos las paredes están cortadas a tajo con acantilados que pueden exceder el centenar de metros de altura.

Una estabilidad engañosa: Las laderas suelen ser muy estables bajo condiciones de carga gravitacional por trabazón mecánica de las minúsculas e irregulares partículas de ceniza; sin embargo, sujetas a la vibración de un sismo intenso, las laderas se "descascarán" o bien se desprenden enormes bloques a lo largo de fisuras previamente existentes en las masas de ceniza. En zonas densamente urbanizadas la aparente estabilidad de estas laderas de barrancos invita a su aprovechamiento hasta el borde mismo, incluso para edificación pesada y más frecuentemente para vivienda. El uso indiscriminado de estos bordes de laderas es un peligro latente. En la Ciudad de Guatemala, el problema se complica al considerar la presión social para utilizar todo el terreno urbanizable disponible, especialmente por los grupos sociales de menor ingreso y por grupos de ingresos marginales que edifican barriadas hasta en las laderas mismas cuando la inclinación lo permite.

Amenazas conexas adicionales: El peligro sísmico se magnifica para los desarrollos urbanos que se localizan sobre "penínsulas", camellones, espinazos y cuchillas de terreno rodeadas de barrancos por dos y tres lados, la vibración sísmica suele magnificarse en estas esbeltas masas no confinadas de suelo incrementando notoriamente, tanto el riesgo de derrumbe, como de daño a las edificaciones construidas sobre los camellones.

¿ Medidas para mitigar el peligro de los derrumbes ? La respuesta parece fácil y obvia: evitar habitar cerca del borde del talud, cerca del pie, y sobre el talud.



NOTA: RETICULA SEGUN MAPA 1:50,000 DE LA REPUBLICA

ZONA	I _e	A _e	A _f	Observaciones
2	2	0.10 g	0.0 g	HACER INTERPOLACIONES SOBRE LINEAS NORTE-SUR
3	3	0.10-0.30 g	0.0-0.10 g	
4.1	4	0.30 g	0.1-0.15 g	
4.2	4	0.30 g	0.15 g	

MAPA BASE -
MACROZONIFICACION SISMICA
PROYECTO DE NORMAS SISMO-RESISTENTES
PARA LA REPUBLICA DE GUATEMALA
FIGURA 4.

La realidad es que cualquiera que conozca la Ciudad de Guatemala sabe que esto es más fácil decirlo que hacerlo. Personas de todas condiciones económicas habitan ya hasta el borde mismo de las barrancas. A pesar de la experiencia de 1976 constantemente se ocupan más y más bordes de laderas por presiones territoriales, presiones sociales, o por el valor escénico. No hay regulaciones municipales ni ha habido voluntad política de hacerlas. Los dictámenes geotécnicos suelen hacer conflicto con la presión por habitar los bordes de las barrancas y son parcialmente desoídos o no son lo suficientemente contundentes. A veces no se puede ser contundente porque la evaluación del peligro cae en una zona "gris" y tiende a dominar el criterio de baja probabilidad de ocurrencia. Por otra parte, de ocurrir un derrumbe bajo una edificación las consecuencias suelen ser fatales lo cual puede facilitar la tarea de hacer que se acate un dictamen o una regulación.

Un segundo peligro conexo - ruptura y fisuración de terreno

Ruptura activa: Muchos de los valles más densamente urbanizados de Guatemala contienen fallas superficiales geológicamente activas. En el caso que una de estas fallas sufra una ruptura - que, incidentalmente, es lo que produce o genera un sismo - se produce un desplazamiento del terreno que causa enormes daños a las estructuras construidas en las proximidades. Esto ocurrió durante el terremoto de 1976 a lo largo del valle del Motagua, en localidades de Chimaltenango y en el occidente de la Ciudad de Guatemala.

Fisuras pasivas: Agravando la condición anterior, como los suelos de los valles son de ceniza volcánica, también ocurren fisuras o agrietamientos en franjas de terreno de varios kilómetros de ancho, a lo largo de las zonas donde ocurren rupturas activas. Típicamente ocurre una concentración de daño en las estructuras a las que cupo en suerte estar edificadas sobre alguna de estas grietas. El problema es complicado debido a la naturaleza pasiva de estas fisuras; su localización no es siempre recurrente y son difíciles o imposibles de identificar previamente en los depósitos de suelo.

¿ Medidas para mitigar el peligro de ruptura o fisuración ? De nuevo la respuesta parece ser fácil y obvia: evitar las zonas de riesgo. Hay dos factores que virtualmente

imposibilitan este tipo de solución. Primero, la identificación y delimitación de la zona de peligro, sobre todo en lo referente a la zona de fisuración pasiva que no tiene límites definidas, segundo, la extensión territorial que suelen tener las zonas propensas. Por ejemplo, en un valle tan plagado de fallas geológicas como el Valle de Guatemala, encontrar zonas realmente libres de este peligro debe verse con cierto pesimismo. Delimitar las potenciales zonas de ruptura activa puede ser igualmente difícil ya que vestigios de desplazamientos se han encontrado en lugares previamente inesperados. Por otra parte, la probabilidad que una determinada falla sufra ruptura resulta extraordinariamente baja. La regulación de este tipo de peligro sísmico posiblemente requiera de decisiones políticas en combinación con medidas técnicas.

Una tercera amenaza:

Licuación y/o asentamiento de suelos saturados sin cohesión

Al ocurrir un sismo de gran magnitud, ciertos suelos a lo largo de las costas y esteros de Guatemala tienen el potencial de licuarse momentáneamente. En otras palabras se transforman en "arena movediza" mientras dura el sismo. La misma situación aplica a las riberas de numerosos lagos y de grandes ríos. El fenómeno puede ocurrir cuando existen depósitos aluviales recientes de arenas no cohesivas debajo del nivel de agua freática. Las edificaciones y la infraestructura que se hallen en una zona que se licúa durante el sismo sufren asentamientos usualmente irrecuperables e irreparables al sumergirse en el suelo líquido y quedan posteriormente atrapadas entre la masa nuevamente sólida de suelo. Un fenómeno afín ocurre cuando se licúa un estrato inferior del subsuelo y los estratos superiores y las edificaciones construidas sobre ellos quedan permanente y caóticamente asentadas.

¿ Casos de licuación en Guatemala ? En 1976 hubo licuación de suelos en algunas playas del lago de Amatitlán y en algunas riberas del río Motagua y se destruyó un muelle en Puerto Barrios. Un ejemplo notable de este fenómeno ocurrió durante el terremoto de

Limón, Costa Rica en 1991. Algunos muelles del puerto fueron dañados y varios kilómetros de una carretera costera fueron, no dañados, sino destruidos.

¿ Protección contra licuación ? Hay algunos métodos de aplicación limitada a áreas localizadas. Sobre áreas extensas la mejor protección está en la identificación de las zonas. En Guatemala el tema se estudió algo hace 20 años. Hoy en día el tema está abandonado.

Aún hay más amenazas conexas: maremotos y "seiches"

Ocasionalmente sismos submarinos generados en la zona de subducción desplazan suficiente cantidad de agua como para producir dos o tres gigantescas olas que con intervalos de minutos invaden sucesivamente segmentos de costa de unos cuantos kilómetros de largo. El fenómeno se llama maremoto (o "tsunami"). Los efectos suelen ser devastadores sobre el tramo de costa afectado.

Si un sismo produce este tipo de olas en un lago, el fenómeno se llama "seiche"⁵. Las masas de agua dulce que en Guatemala podrían ser propensas incluyen el lago de Izabal y tal vez el de Atitlán.

La identificación de zonas propensas a estos peligros de origen sísmico no parece haber sido estudiada formalmente por ninguno en Guatemala.

La ocurrencia de un maremoto en la costa del Pacífico de Nicaragua hace pocos años pone de relieve la necesidad de tomar esta amenaza sísmica en consideración. El último maremoto próximo a Guatemala ocurrió en febrero de 1902 entre la desembocadura del río Paz y Acajutla. Hay versiones no confirmadas sobre un maremoto en Iztapa en 1773⁶.

⁵ La palabra "seiche" es de origen Suizo. Allí aplica si un alud cae en un lago y produce olas devastadoras.

⁶ Arq. Marcelino González Cano, USAC, comunicación personal. 1986