La necesidad de un Código de Construcción Sismoresistente para Honduras

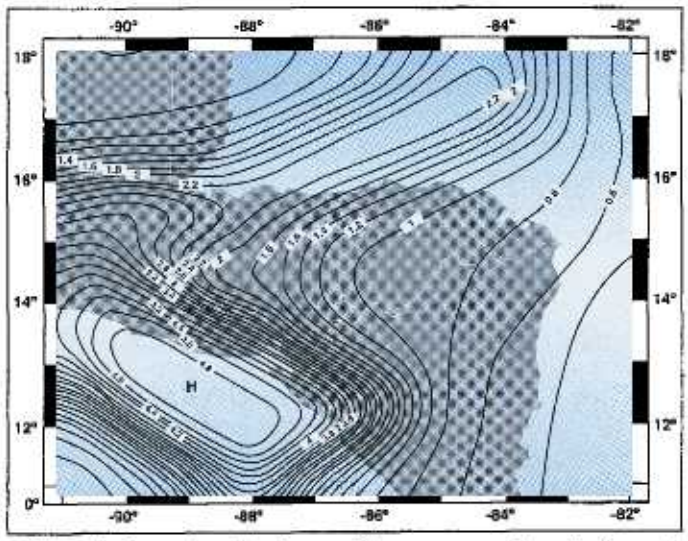
Por. Gonzalo Cruz Calderón
Ingeniería Civil
Geofísico, Catedrático UNAH-LPN, miembro del CEGH/CICH
Comentarios a. gcruz5@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Las altas tasas de sismicidad en la región centroamericana en los últimos 30 años, la reciente y presente actividad sísmica por la que atraviesa la República de El Salvador y zonas aledañas, con daños severos asociados, así como los resultados de varios estudios sobre la amenaza o peligrosidad de Honduras, demuestran que nuestro país está propenso a movimientos fuertes del suelo en virtud de los valores de la aceleración máxima del suelo (PGA) y velocidad máxima del suelo (PGV) y desplazamiento máximo del suelo (PGD) encontrados. Todo lo anterior, unido a evaluaciones generales de la vulnerabilidad sísmica en Centroamérica y Honduras nos sitúa en el escenario donde se deben tomar medidas y acciones inmediatas para la aprobación y puesta en vigencia de un código de construcción que contemple los aspectos sismoresistentes de distintos tipos de estructuras y construcciones a fin de disminuir el riesgo por sismos a que está sometida nuestra población y la infraestructura en general.

En este artículo se hace una revisión general del estado del arte y algunas lecciones aprendidas de los terremotos, de los métodos actuales para la estimación de la amenaza sísmica y algunos resultados para Honduras lo mismo que la necesidad de la aprobación y puesta en marcha del Código de Construcción Sismoresistente para Honduras.

1. El riesgo sísmico y sus dimensiones naturales y humanas.



• Mapa de Isoaceleración. Las isosistas corresponden a las áreas de igual amenza sísmica. El mapa presenta los valores de PGA en M/SS para un período de retorno de 500 años (10% de excelencia en 50 años).

Según Fournier dÁlbe (1988) y Bommer (1996), el riesgo sísmico es la probabilidad de una pérdida (humana, económica, etc.) causada por un sismo durante un tiempo definido Esta probabilidad depende de la peligrosidad (amenaza sísmica) como factor natural y la vulnerabilidad (intervención humana). **La amenaza sísmica** es un elemento natural que se estima calculando la probabilidad estadística de la ocurrencia (o excedencia) en un determinado valor de la intensidad sísmica o aceleración del terreno debido a terremotos (Sauter, 1989) **La vulnerabilidad sísmica** se relaciona con la capacidad de resistencia de las estructuras expuestas a movimientos sísmicos. También se refiere al grado de daño o pérdida a que está sujeta determinada obra o elemento a causa de un sismo de una magnitud e intensidad dada expresada generalmente en una escala de 0 (ningún daño) a 10 (colapso y pérdida total) (Sauter, 1989). Una relación general entre los tres factores nos dice que:

Riesgo sísmico = Amenaza sísmica x Vulnerabilidad

Lo cual significa que la disminución de los niveles de riesgo a que estamos expuestos dependen tanto de la amenaza o probabilidad de ocurrencia y del grado de resistencia o vulnerabilidad física y social. Una disminución de la vulnerabilidad sísmica se refleja en consecuencia en una disminución del pivel de riesgo a que está sometida nuestra población y la infraestructura.

2. Algunos de los temas y preguntas que conforman el estado del arte en ingeniería sísmica y áreas afines (E.E-.R.I.,1986).

Cada terremoto deja una serie de lecciones y experiencias de las cuales se continúa aprendiendo y obteniendo valiosa información que direcciona la investigación y el estado del arte en la Sismología y áreas afines, todo lo cual se orienta a evitar o disminuir los grandes daños humanos y materiales que esos fenómenos continúan provocando.

La elaboración y aplicación de códigos de construcción sismoresistentes se ubican en el área denominada **Ingeniería Sísmica** en la cual se analizan e investigan los métodos para el diseño. supervisión y construcción de obras que puedan soportar terremotos de medianas y altas intensidades, incluye el diseño. el detalle y la construcción, el control de calidad, investiga el porqué fallan los suelos, cuál es el comportamiento de los edificios durante los sismos. También existen preguntas en relación a la rigidez y el período de vibración a cargas laterales, la influencia de las irregularidades de los edificios en planta y a elevación, el comportamiento de los materiales y otros temas relacionados con las líneas vitales. las construcciones industriales. la arquitectura y la planificación.

Otra área técnica afín a estos temas es la **Ingeniería Geotécnica,** mediante la cual se aplican métodos en mecánica de suelos y rocas para el diseño de estructuras que soporten terremotos, estudia las respuestas del suelo, el cálculo de la **amenaza sísmica** (curvas de PGA, PGV y PGD), los contenidos espectrales, la interacción del suelo-estructura, los fenómenos de licuefacción y pérdida de esfuerzos del suelo, los asentamientos y deslizamientos de tierra, los daños a represas o depósitos subterráneos y otros.

El campo de la **Sismología** se interesa entre otros aspectos, por las observaciones de campo y el estudio de réplicas para investigar las características y mecanismo focal de los terremotos, la delineación espacio- tiempo de la superfi-

cie de ruptura, la presencia de asperezas y naturaleza del desplazamiento sísmico, la comparación de modelos teóricos, observaciones de campo y resultados de laboratorio sobre la propagación de la ruptura a bajas frecuencias lo mismo que la combinación de modelos estocásticos y determinísticos para caracterizar el movimiento del suelo a altas frecuencias. También investiga los mecanismos de ruptura, la interpretación de intensidades medidas y calculadas, las relaciones de atenuación de la energía, y la duración y frecuencia del contenido de señales entre otros temas.

Otra área muy importante es la **Geología** la cual, entre otros aspectos relacionados, estudia el comportamiento post eventos, la conducta y el potencial sísmico de las fallas, la medida de esfuerzos in situ, los estudios morfológicos, la medida de los parámetros de falla, el modelaje de la ruptura de fallas mediante métodos estáticos y dinámicos, los estudios geológicos de fallas activas, su segmentación, ruptura, ambiente tectónico y desplazamientos.

3. Metodología para estimar la amenaza sísmica y algunos resultados de estudios para Honduras

En el diseño de todo tipo de edificios y de obras civiles en general, para poder evaluar los daños probables causados por eventos sísmicos generalmente se necesita estimar la intensidad o aceleración máxima del movimiento del terreno. La llamada amenaza sísmica (peligrosidad sísmica o hazard) de un sitio depende de la magnitud del sismo y de la distancia a que ocurra el sismo del sitio en referencia El movimiento del suelo se mide a través de la aceleración máxima del terreno (PGA) o intensidad sísmica y se hace en términos probabilísticos. Es una práctica común en ingeniería considerar la peligrosidad sísmica como un determinado valor de PGA del terreno que tenga un 90% de no ser excedida en un periodo de 50 años. Aunque la PGA no es el único parámetro para estimar la amenaza sísmica, en la actualidad es el parámetro más utilizado en estudios de amenaza y riesgo sísmico. Para la evaluación de la amenaza sísmica en general, se utiliza la siguiente metodología.

a) Evaluación de la sismicidad y modelaje de fuentes sísmicas. Consiste en el estudio comprensivo y completo de toda la sismicidad existente (histórica e instrumental) contenida en los catálogos sísmicos y la definición de las zonas sísmicas. Normalmente esta información necesita prepararse y clasificarse en base a magnitudes, profundidades focales y deben realizarse procesos como la estandarización y homogenización de magnitudes y análisis de completitud y estabilidad de los datos. En el modelaje de las fuentes sísmicas se toma en consideración los catálogos de sismicidad, la geología y los movimientos corticales recientes. Esta zonación consiste en la definición de las fuentes sísmicas que se puede realizar en base a fallas activas, a áreas sísmicas, o combinaciones de ellas. En la evaluación de la amenaza sísmica para Honduras se ha utilizado el mapa de epicentros (1500-1999).

b) Cálculo de la tasa media de la actividad de cada fuente dada.

Este proceso se realiza aplicando la relación de recurrencia de Gutemberg-Richter:

$$\mathbf{LogN(M) = a - bM}$$

que explica la distribución de las magnitudes con el número de eventos o sea la magnitud y frecuencia con que ocurren los sismos. **N(M)** es el número de sismos por unidad de tiempo con magnitud mayor o igual a M y las constantes **a y b** son parámetros sísmicos que caracterizan a cada región y se evalúan estadísticamente.

c) Selección del Modelo de Ocurrencia Sísmica.

La metodología utilizada está basada en un análisis probabilístico (Mc Guire, 1976). En este procedimiento, la función de probabilidad que modela la ocurrencia del movimiento del suelo en un sitio prefijado que excede un nivel especificado, es la de Poissón. Además, se incorpora un análisis de incertidumbre de los parámetros en términos probabilísticas, a través de un modelo Bayesiano de riesgo sísmico.

El modelo de ocurrencia del movimiento del suelo en un sitio determinado, en exceso de un nivel específico se asume como un proceso Poissoniano. Bajo este criterio, la probabilidad de que un evento produzca movimientos del suelo en un sitio particular en exceso de un nivel predeterminado, es independiente de la ocurrencia de otros eventos La probabilidad de que el nivel de movimiento del suelo "z" sea excedido en un sitio por unidad de tiempo se expresa como:

$$P(Z>z) = 1 - e^{-v(z)}$$

Donde v (z) es el promedio de eventos por unidad de tiempo o la tasa en el cual Z excede a z.

d) La atenuación de la aceleración máxima de la tierra.

De acuerdo a las relaciones de atenuación, la intensidad del movimiento disminuye con la distancia. Los cálculos del PGA requieren del uso de curvas de atenuación que relación de la aceleración en funciona de la magnitud y la distancia. La atenuación de la energía sísmica generada en las fuentes y el correspondiente movimiento en cualquier punto del territorio es de importancia fundamental en un estudio de amenaza sísmica ya que los niveles de la amenaza parecen ser muy sensitivos al modelo de atenuación y sus incertidumbres utilizadas. En este cálculo se utilizan modelos realistas que especifican el decaimiento de la energía como función de la distancia en cada región.

e) Cálculo de las funciones o probabilidades de excedencia de los niveles de PGA

Se construyen gráficas de los niveles del PGA en función de los valores probabilísticas de excedencia anual y para cada sitio de interés. El inverso de las probabilidades anuales de excedencia corresponde a los períodos de retorno. Estas gráficas de aceleración de zona son la base para los mapas de amenaza sísmica.

f) Construcción de mapas de isoaceleración o zonación sísmica.

Mediante procesos de interpolación de valores de PGA se construyen mapas de isoaceleración que es la forma mas estándar de presentar y utilizar los resultados del análisis de riesgo sísmico. Las líneas de isoaceleración definen regiones de igual niveles de amenaza sísmica y son utilizadas en los códigos de construcción sismorresistente. Conociendo las aceleraciones del suelo se puede calcular las fuerzas o cargas que actuarán sobre las estructuras en casos de sismos. Dichos mapas además de identificar las áreas de mayor peligro para fines de planificación, establecen los niveles de aceleración que se deben considerar en el diseño sísmico (Bommer, 1996).

En Honduras se han realizado varios estudios de amenaza sísmica: Kiremidjian - etal. (1989), Escobar (1996), Cáceres y Kulhanek(1995) y Cruz y otros (1999). En general, todos los resultados muestran que Honduras está propensa a los movimientos fuertes del suelo. Los valores de PGA esperados en algunos sitios en Honduras son comparables con valores de zonas de intensa actividad sísmica, relacionados con la subducción de la placa de Cocos bajo la placa del Caribe y con la frontera de placas Caribe y Norte América.

En la figura se muestra un mapa de amenaza sísmica para Honduras para un 10 % de excedencia en 50 años.

Un estudio completo de riesgo sísmico, además de evaluar de los niveles de la amenaza y de vulnerabilidad, debe tomar en consideración otros aspectos como las condiciones locales del suelo, la topografía, los efectos de amplificación sísmica, el mecanismo focal de los sismos y su direccionalidad, la estabilidad de los taludes y el efecto de licuefacción. Una evaluación integral de estos factores permite microzonificar sísmicamente una ciudad o de una región especifica lo cual es de aplicabilidad directa para la ingeniería sísmica

4. Importancia de un Código Sismoresistente para Honduras

El Código de Construcción Sismoresistente es el instrumento que especifica las normas técnicas sobre cómo deben diseñarse y construirse las estructuras y sus partes, de manera que puedan resistir como mínimo los efectos de los movimientos sísmicos del terreno. El Código es importante porque proporciona información sobre las cargas que se deben considerar en el diseño de edificaciones y en base a él se definen los criterios y parámetros que las estructuras deben cumplir. Las bases para un diseño sísmico incluye, entre otros aspectos, los siguientes: la zonificación sísmica (curvas de amenaza sísmica), las características del sitio, la categoría de ocupación, el factor de importancia, la configuración, el sistema estructural y altura de la estructura y la caracterización de las fuerzas y aspectos asociados (CHC-CICH,1999)

En los códigos de construcción por sismos, generalmente se especifica la forma de estimar las fuerzas o cargas sísmicas mínimas de diseño. Las cargas pueden ser modeladas bajo **métodos estáticos o dinámicos,** bajo ciertas especificaciones. En el tratamiento estático la fuerza lateral total de diseño se expresa en función del factor de **zonación sísmica** (curvas de PGA), del factor de importancia sísmica y de otros coeficientes sísmicos que dependen del perfil del suelo, de factores numéricos y del período fundamental de vibración de la estructura. Los procedimientos dinámicos para la determinación de fuerzas se basan en representaciones apropiadas y realistas del movimiento del suelo ante los sismos y se calcula en base a espectros de respuesta, espectros específicos de sitio, usando acelerogramas del movimiento del suelo o mediante un modelo matemático de la estructura

Lo que se persigue con la aplicación de estos códigos es que las edificaciones puedan soportar sismos de alguna intensidad sin daños estructurales o soportar eventos de altas intensidades sin colapsar Son en realidad, formas de reforzamiento de la norma y la calidad de la construcción, que evolucionan y que son sometidos a mejoras continuas. Se ha demostrado que la inversión para lograr la resistencia sísmica en un edificio nuevo puede representar solamente de un 5%-10% del costo de un proyecto de ingeniería (Bonmer, 1966)

Debido a que nuestro país se encuentra en una de las zonas sísmicamente más activas del mundo lo que se evidencia por la enorme cantidad de terremotos que han afectado el área centroamericana en tiempos históricos y recientemente, es de urgente prioridad la aprobación del Código de Construcción que contemple los aspectos sísmicos. En tal sentido, el **Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH),** ya ha tomado las previsiones apropiadas en esta dirección. Recientemente una comisión técnica de este Colegio nombrada por su Junta Directiva ha elaborado un Código para las nuevas construcciones tomando en consideración las cargas sísmicas (CHC- CICH., 1999). Este Código Hondureño de Construcción se someterá al honorable Congreso Nacional para su aprobación y puesta en vigencia.

Para concluir, no olvidemos que cada terremoto deja una enorme cantidad de lecciones aprendidas las cuales actualizan y mejoran los códigos a la luz de nuevos conocimientos y prácticas profesionales. En general, cuando los edificios se diseñan de acuerdo a códigos adecuados, cuando la construcción es bien supervisada y cuando los terremotos son calibrados de acuerdo a la sismicidad esperada, los daños pueden reducirse en forma significativa a través de la implementación de mejoras en el manejo del diseño y la construcción.

Pero el compromiso es de todos: en todo el proceso de aplicación de la norma sísmica, es clave el seguimiento y monitoreo adecuado por parte de las entidades e instituciones relacionadas con el rubro de la construcción. En este sentido, un código debe promulgarse como ley, hacerse cumplir y definir la (s) entidad (es) encargadas de inspeccionar su cumplimiento. La eficacia de un código depende de la capacidad de su aplicación y de la comprensión, importancia y apoyo decisivo que todos los sectores y la sociedad en general brindemos a esta propuesta que está llamada a ejercer una profunda diferencia en nuestra forma de vivir, reduciendo nuestra vulnerabilidad como personas y como nación.

BIBLIOGRAFIA

- Bommer, J.J (1996): Terremotos, Urbanización y Riesgo Sísmico en San Salvador PRISMA, No 18.
- Cáceres, D.and O. Kulhanek (1999): Seismic Hazard of Honduras Natural Hazards 00:1-21 Kluwer Academic Publishers.
- Cruz, G., Escobar, J J., Tenorio, C. y C. Linholm (2000): La Amenaza Sísmica de 11 lugares importantes en Honduras. Sección de Geofísica. Dpto de Física, UNAH Tegucigalpa, D.C Honduras, C.A.
- Comisión CHC-CICH (1999). Código Hondureño de la Construcción. Normas Técnicas Complementarias, Cap. XII: Cargas y Fuerzas Estructurales.
- Escobar, J.J. (1996): Preliminary Study of Seismic Hazard in Honduras, MS.C Thesis, University of Bergen, Norway.
- Earthquake Engineering Research Institute (1986): Reducing Earthquake: Lessons learned from Earthquakes.E.E.R.I Publication No. 86-02
- Fournier, d'Albe, E. (1988)· An Approach to earthquake risk management Enginnering Structures.
- Kiremidjian, S.A. P Sutch y H. Sha (1979). Seismic Hazard Analisis of Honduras. The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, California.
- Kurnik, V, y Algermissen, S.T. (1980) Zonificación Sísmica, en Terremotos, UNESCO, Editorial Blume, Barcelona.
- McGuire, R. K. (1976): FORTRAN Computer Program for Seismic Analysis. USGS Open File Report No. 76-67
- Rojas, W, H. Bungun and C.D Lindholm (1993 a): A Catalog of historical and recent earthquakes in Central America. Report NORSAR, 77p.
- Rojas, W, H. Bungun and C.D. Lindholm (1993 b): Historical and recent earthquakes in Central America. Rev Geol. America Central, 16, 5-21.
- Sauter, F, (1989)· Fundamentos de Ingeniería Sísmica I. Introducción a la Sismología. Editorial Tecnológica de Costa Rica.