

CAPITULO I

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 INTRODUCCION.

América Latina y el Caribe son víctimas frecuentes de desastres naturales. Terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones y deslizamientos causan anualmente una gran cantidad de muertes, daños y pérdida de infraestructura económica y social con el consecuente endeudamiento y empobrecimiento de los países de esta área.

Desde 1960 los desastres naturales en estas dos regiones han causado la muerte de 180 mil personas y han ocasionado aproximadamente US\$54 mil millones en daños a la propiedad. El sector salud ha sido particularmente vulnerable a estos daños, tanto así, que huracanes como "Gilberto" (Jamaica, 1988), "Luis" y "Marilyn" (septiembre de 1995 en Antigua y Bermuda, St. Kitts y Nevis, St Maarten y otras islas) y los terremotos de México (1985), El Salvador (1986) y Costa Rica (1991) dañaron seriamente los hospitales y servicios de salud, situación que afectó negativamente en la atención de las víctimas de los desastres.

El Salvador es uno de los países del continente americano que más veces ha sido destrozado por terremotos. De continuar las tendencias actuales, futuros terremotos podrían provocar costos humanos y económicos mucho más elevados que en el pasado, sobre todo por la fragilidad que ocasiona el acelerado y desordenado proceso de urbanización que se viene dando, sobre todo, en el AMSS.¹

En este sentido, se necesita establecer el riesgo sísmico imperante en una región, entendiéndose por éste, como la probabilidad de pérdida (ya sea humana o económica) causada por un sismo durante un tiempo definido. Este parámetro a su vez depende de dos factores: la peligrosidad sísmica como factor natural y la vulnerabilidad que refleja las características de la intervención humana.

La peligrosidad está relacionada con la probabilidad de que ocurran movimientos sísmicos en una zona determinada, además refleja características de la naturaleza que no pueden cambiarse. Por el contrario, la vulnerabilidad o capacidad de resistencia de las estructuras expuestas a

¹ Bommer, J. Terremotos, urbanización y riesgo sísmico en San Salvador, PRISMA No. 18, Julio-Agosto 1996, p.1.

estos movimientos, refleja la intervención humana y sí puede ser modificada.

1.2 ANTECEDENTES.

1.2.1 Estudios de riesgo sísmico sobre Centroamérica.

Durante los últimos veinticuatro años, el istmo centroamericano ha sido asolado por cuatro devastadores sismos: en Nicaragua (1972), Guatemala (1976), El Salvador (1986) y Costa Rica (1991). Estos sismos demostraron de forma trágica la fragilidad de las estructuras económicas, sociales y de los asentamientos humanos.

En el caso particular de El Salvador, el número de muertos que los terremotos han causado en el territorio no es muy elevado, sobre todo cuando se compara con las cifras de mortalidad debidas a causas sociales como la guerra, la delincuencia y los accidentes de tránsito. Sin embargo, el impacto que dichos fenómenos naturales han ocasionado sobre el país y su desarrollo puede ser determinante. En la tabla 1.1 se presentan los daños económicos causados por los sismos más importantes en el mundo entre 1972 y 1990.

De la tabla se observa que la pérdida económica en El Salvador debida al terremoto de 1986 fue relativamente pequeña en términos globales, sobre todo, si se compara con pérdidas recientes como la estimación de US\$ 150 billones en el terremoto de Kobe (Japón) en enero de 1995².

Un aspecto muy importante es el impacto relativo causado por estos fenómenos sobre la economía de un país, que puede observarse en la última columna de la tabla 1.1, donde se muestra la relación entre las pérdidas generadas por el evento sísmico con el Producto Nacional Bruto (PNB). Cabe hacer notar, que las cifras más elevadas corresponden al área de Centroamérica y en especial al terremoto de 1986 en El Salvador, ubicado en segunda posición.

La pérdida a causa de estos eventos, no debe considerarse como dato aislado, ya que si se observa, Italia (Campania, 1980) tuvo una pérdida de US\$ 45 billones de dólares, mientras que Nicaragua

² Bomm... J. *op. cit.*, p.7.

(Managua, 1972) únicamente US\$ 2.0 billones de dólares. No obstante, al compararse con su Producto Nacional Bruto, resulta que Italia perdió un 6.8% de su PNB para ese año, mientras que para Nicaragua se traducía en un 40%. Esto refleja la susceptibilidad de las economías pequeñas al ser duramente afectadas por este tipo de fenómenos.

Ciudad, país y año	Pérdida (Billones de US\$)	PNB* (Billones de US\$)	Pérdida/ PNB (Porcentajes)
Managua (1972)	2.0	5.0	40.0
San Salvador(1986)	1.5	4.8	31.0
Guatemala(1976)	1.1	6.1	18.0
Montenegro, Yugoslavia (1979)	2.2	22.0	10.0
Manjil, Irán (1990)	7.2	100.0	7.2
Campania, Italia (1980)	45.0	661.8	6.8
Bucarest, Rumania (1977)	0.8	26.7	3.0
México, D.F, México (1985)	5.0	166.7	3.0
Armenia, Ex-URSS (1988)	17.0	566.7	3.0
Luzón, Filipinas (1990)	1.5	55.1	2.7
Kalamata, Grecia (1986)	0.8	40.0	2.0
Tangshang, China (1976)	6.0	400.0	1.5
Loma Prieta, EE.UU. (1989)	8.0	4,705.8	0.2

* Producto Nacional Bruto correspondiente al año en que ocurrió el sismo.

FUENTE: Bommer, J. Terremotos, urbanización y riesgo sísmico en San Salvador, PRISMA No. 18, Julio-Agosto1996,p.7.

Tabla 1.1 Pérdidas económicas directas ocasionadas por terremotos a nivel mundial, entre los años de 1972 a 1990.

Ahora bien, los pocos estudios que existen acerca de los desastres ocasionados por fenómenos naturales en el istmo centroamericano se concentran en el ámbito del impacto económico de lo que se pueden llamar los grandes desastres (terremotos, huracanes y sequías), y en general, han sido elaborados durante el período post-desastre por agencias internacionales o estudios fuera de la región. Sin embargo, dichos estudios han contribuido en alguna medida a fomentar el interés en este tipo de investigaciones por parte de algunas

Instituciones privadas (Universidades, Asociaciones de Ingenieros, etc.) y gubernamentales.

Uno de los países del área Centroamericana que se ha visto más favorecido en este sentido es Costa Rica y este hecho marca una diferencia entre este país con el resto de países del área en la investigación de la Ingeniería Sísmica; por ejemplo, durante los años de 1970 a 1980 se desató un gran interés en este país hacia el área de la seguridad contra movimientos sísmicos, como resultado de los terremotos que habían ocurrido en Managua (1972), Tilarán (1973), y ciudad de Guatemala (1976). A partir de estos hechos, se promulgó el código sísmico de Costa Rica en el año de 1974 por la Federación Asociada de Ingenieros y Arquitectos, conduciendo con ello al "Estudio de riesgo sísmico en Costa Rica". Dicho estudio es actualmente utilizado en la elaboración de la última versión del código sísmico de ese país.

En la actualidad, Costa Rica cuenta con una serie de estudios de riesgo y vulnerabilidad sísmica, los cuales han hecho énfasis en una serie de medidas orientadas al reforzamiento de estructuras que se han visto expuestas a eventos ocurridos en el pasado, tales como terremotos.

El objetivo de este enfoque es tratar de prevenir efectos desastrosos ante la ocurrencia de tales fenómenos, tal como lo demuestra el terremoto que sacudió dicho país el 22 de abril de 1991. En éste fue posible establecer que la mayoría de edificios que habían sido reforzados como producto de un estudio de riesgo sísmico, tuvieron un comportamiento satisfactorio, además de mostrar aquellas zonas donde la presencia de fallas podrían incrementar el riesgo ante la ocurrencia de un terremoto más intenso.

Todo ello, demuestra el impacto positivo que tienen los estudios de riesgo sísmico, previos a acontecimientos naturales, de tal manera que se puede tener una idea de la respuesta de una estructura al momento de verse sometida a la acción de un fenómeno que podría catalogarse como desastroso.

1.2.2 Estudios relacionados con la evaluación del riesgo sísmico en El Salvador.

1.2.2.1 Primeros estudios.

Según los trabajos realizados por numerosos investigadores, la naturaleza del movimiento del terreno provocado por un sismo es bastante compleja. Para poder llegar a tener una comprensión detallada de la misma, es necesario realizar una serie de estudios que incluyan el conocimiento de las características geotécnicas de la zona estudiada.

Desde este punto de vista, los primeros estudios geotécnicos realizados en este país estuvieron dirigidos hacia el área de la Ingeniería Sísmica, cuyo propósito era brindar un aporte a la mitigación de los daños ocasionados por la ocurrencia de un sismo en la región. Jorge Lardé realizó los primeros estudios científicos sobre aspectos sismológicos y geológicos de El Salvador. Este eminente investigador salvadoreño llegó a tener una idea clara del peligro de los terremotos y de la necesidad de regular la construcción en zonas sísmicas. Entre sus obras se tienen : "El Terremoto del 6 de Septiembre de 1915 y los demás Terremotos de El Salvador" (1917) y "Geología General de Centroamérica y Especial de El Salvador" (1924).

A partir de la década de los años cincuenta, una serie de terremotos en diversas partes del planeta han proporcionado suficiente evidencia de que las respuestas de las estructuras ante un sismo, están asociadas con las características del subsuelo, entre algunos casos se pueden mencionar los siguientes : San Francisco, Estados Unidos, 1957; Niigata, Japón, 1964; Caracas, Venezuela, 1967; Tashkent, URSS, 1967; Bursa, Turquía, 1970.

Para el caso de San Salvador, la influencia de las condiciones locales en un sismo, ha sido evaluada por diversos estudios de carácter cualitativo. Se puede mencionar a la Misión de Reconocimiento Sismológico de la UNESCO que visitó la ciudad después del terremoto del 3 de mayo de 1965, la cual estableció que las mayores intensidades se registraron en zonas donde se encontraban los más grandes espesores de tierra blanca³.

³ Dengo, G., Fielder, G., Knudsen, C. y Lomnitz, C. El Salvador, Misión de Reconocimiento Sismológico, UNESCO, El Salvador, 1965.

Maximiliano Martínez, geólogo salvadoreño, realizó un ensayo de microzonificación basándose en el terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976; llegó a concluir que existe " una relación directa entre los factores de incremento de aceleración con los espesores de tierra blanca, toba y profundidades de roca ".⁴

Salvador J. Alvarez, en el "Informe Técnico sobre Aspectos Sismológicos del Terremoto en El Salvador del 19 de junio de 1982", determinó que algunos de los daños producidos no se debieron tanto por la magnitud que el sismo presentó, sino más bien al tipo de suelo, en su mayoría gruesas capas de ceniza y pómez, típicas en zonas como San Juan Tepezontes, Comasagua, San Pedro Nonualco y Apopa.⁵

1.2.2.2 Estudios de peligrosidad y vulnerabilidad.

a) Estudios de peligrosidad.

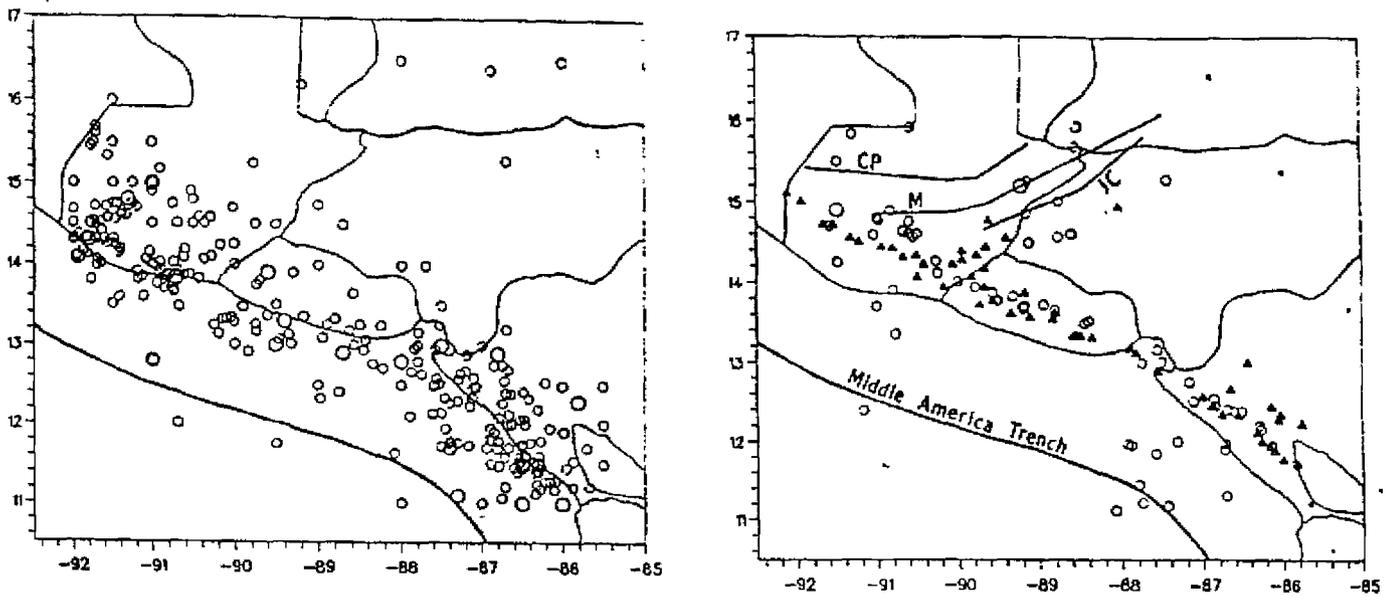
San Salvador fue fundada en su lugar actual en 1545 y al año siguiente recibió el título de ciudad. Su primera ruina sísmica ocurrió el 23 de mayo de 1575. Tan elevada ha sido la frecuencia de los sismos que han afectado San Salvador desde entonces, que en los últimos tres siglos la ciudad ha sufrido daños en catorce ocasiones. De esos eventos de destrucción, nueve se han debido a sismos locales de la cadena volcánica sobre la que se ubica San Salvador, y cinco han sido ocasionados por sismos localizados en la fosa de subducción del Océano Pacífico que corre paralela a unos 50 km de las costas del Pacífico de Centro América. Ver figura 1.1.

Los terremotos locales de la cadena volcánica no alcanzan magnitudes mayores de 6.5 en la escala de Richter, pero son la principal causa de destrucción en El Salvador debido a su coincidencia con las principales concentraciones urbanas.⁶

Martínez, M. " Microzonificación Sísmica del Area Metropolitana de San Salvador, Revista Tecnología y Ciencia, año I, No. 2, UCA Editores, El Salvador, 1979, p. 129.

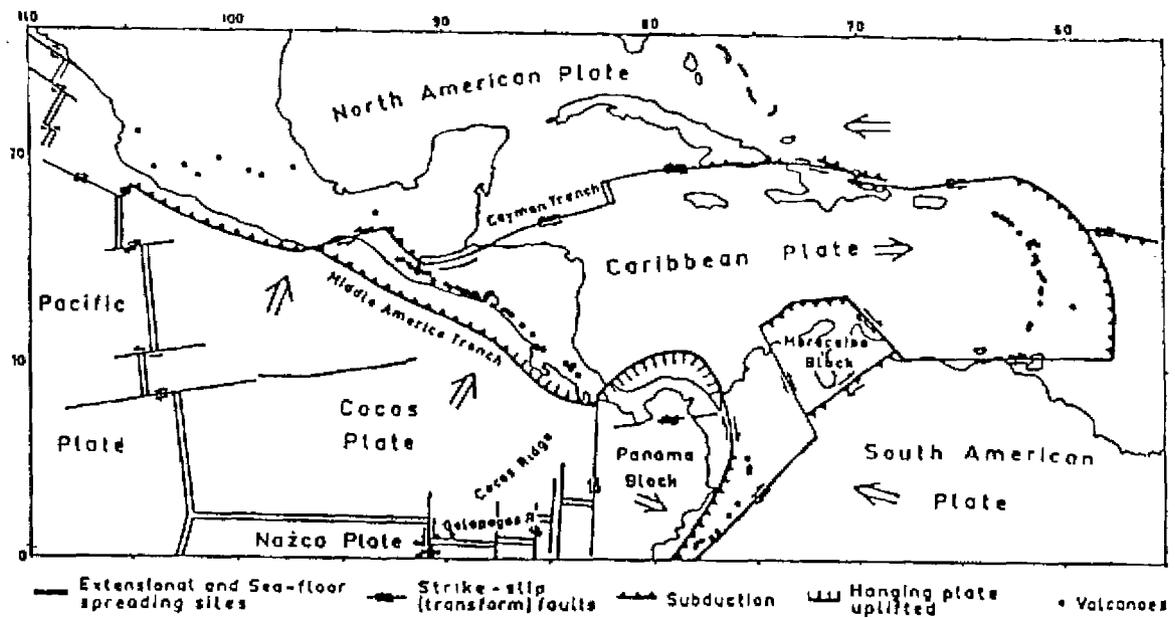
Alvarez, S.J., Informe Técnico sobre Aspectos Sismológicos del Terremoto en El Salvador del 19 de Junio de 1982. Dpto. de Sismología, Centro de Investigaciones Geotécnicas, Ministerio de Obras Públicas, El Salvador, 1989. p. 25.

Bommer, J. op. cit., p.2.



FUENTE : BOOMER, J., et al, "Seismological Research Letters", Seismological Society of America, Volume 68, Number 3, May/June 1997, pp.428.

a) Sismicidad de El Salvador y sus alrededores.



FUENTE : BOOMER, J., et al, "Seismic hazard assessments for El Salvador", Geofisica Internacional (1998), Vol.35, Num. 3, pp. 227-244.

b) Tectónica de America Central y el Caribe (Weyl, 1980).

Figura 1.1 Tectónica y Sismicidad de America Central y el Caribe.

Dada la creciente importancia de los costos relacionados con el colapso de edificios durante los sismos, el diseño de edificios sismoresistentes representa un elemento fundamental para la protección contra los efectos de los terremotos. Por lo general, esto se logra a través de códigos o reglamentos, los cuales, imponen las normas mínimas que han de cumplir las estructuras en una zona sísmica, con el fin de garantizar un nivel mínimo de seguridad. Estos códigos a su vez, son producto de un estudio de peligrosidad sísmica (que incluye mapas de zonificación y microzonificación sísmica para centros urbanos importantes), en el cual se muestran la variación de la peligrosidad debida a la presencia de fallas geológicas y depósitos de suelos.

Entre algunos de los estudios enfocados en esa dirección se encuentran los siguientes :

Aguilar Colato et al (1984)⁷. Realizan un estudio sobre criterios geotécnicos de microzonificación y estimación de las propiedades dinámicas de los suelos en el AMSS.

En este trabajo se presentan los estudios geotécnicos básicos para llevar a cabo una microzonificación sísmica en el AMSS. La investigación geotécnica se dividió en dos grandes partes: condiciones generales y propiedades dinámicas de los suelos. Las condiciones generales se refieren a los aspectos geológicos locales y de la mecánica de suelos convencional. Las propiedades dinámicas de los suelos del AMSS se obtienen a partir de correlaciones empíricas entre el valor de N (número de golpes) obtenido de la prueba de penetración estándar (SPT) y la velocidad de ondas sísmicas (obtenidas de prospecciones sísmicas realizadas por la empresa Rivera - Harrouch, S. A. de C.V.).

Los resultados obtenidos de esta investigación se utilizaron para la obtención de criterios geotécnicos, los cuales se emplearon para realizar un ensayo de microzonificación en el AMSS.

⁷ Aguilar, R.; Bendaña, J.; Cedillos, R., " Criterios geotécnicos de microzonificación y estimación de propiedades dinámicas de los suelos del AMSS, Tesis para optar al Grado de Ingeniero Civil, UCA, San Salvador, 1984, p.354.

Rauda Rosales et al (1985)⁸. Este trabajo se constituye en el primer estudio de peligro sísmico para El Salvador que abarca un análisis cuantitativo de la sismicidad y la predicción del movimiento fuerte a través de un método probabilístico para la evaluación de la peligrosidad sísmica.

Para el desarrollo de este trabajo, se encontraron inconvenientes en los datos recolectados sobre los sismos históricos, ya que sólo describían físicamente los daños observados, hecho que los llevó a asignarles valores de intensidad según la escala de Mercalli - Modificada, y establecer en base a datos más recientes una relación directa entre la intensidad epicentral y la magnitud m_b mediante una relación de mínimos cuadrados. De esta forma se asignó valor de magnitud m_b a todos aquellos sismos registrados en el período no instrumental.

Además, se localizan las tres fuentes sismogénicas que afectan a El Salvador: la zona de subducción, la falla de Motagua, y la zona territorial (cadena volcánica). Se obtuvieron parámetros asociados para cada fuente sismogénica: magnitud máxima, tasa media anual, profundidad focal promedio, y una ecuación de recurrencia. La tasa media anual se refiere al número de sismos con una magnitud mayor o igual al valor mínimo de magnitud definido para cada fuente sismogénica, entre el número de años en que se han registrado dichos sismos.

Algermissen et al (1988)⁹. Realizan una investigación de la prevalente peligrosidad sísmica de la región, como iniciativa del U.S. Geological Survey luego del terremoto que en 1986 afectó San Salvador.

Como resultado se obtuvieron mapas de isoaceleración para vidas útiles de 10, 50 y 250 años, con una probabilidad de excedencia del 10% y espectros elásticos de diseño para una vida útil de 50 y 250 años, con un 5% de amortiguamiento.

⁸ Rauda, M.; Campos, V.; Portillo, E.; Avalos, A., " Estudio Preliminar de Riesgo Sísmico para El Salvador, Trabajo de Graduación presentado para optar al Grado de Ingeniero Civil, UCA, San Salvador, 1984, p.354.

⁹ Algermissen, S.T.; Hanson, S.L.; Thenhaus, P.C., " Seismic Hazard Evaluation of San Salvador, El Salvador, Informe elaborado después del sismo de 1986, 1988.

Castellón et al (1988)¹⁰. Desarrollan un marco teórico que explica los aspectos generales de los elementos que involucra el proceso de evaluación del riesgo sísmico, profundizando en los conceptos para la obtención de ecuaciones de atenuación. El estudio determinó ecuaciones para el área metropolitana de San Salvador (AMSS), utilizando como parámetros dependientes la intensidad y la aceleración máxima del suelo.

Ayala et al (1989)¹¹. Desarrollan un proceso de análisis de la peligrosidad similar al seguido por Rauda et al (1985) con las siguientes variaciones:

- El catálogo sísmico se complementa y actualiza con información de los boletines del Centro de Investigaciones Geotécnicas en un período de 1984 a 1988; del catálogo sísmico de Hattori, elaborado en Japón, con registros para el área centroamericana desde 1902 a 1974 y del reporte técnico-sismológico del terremoto de San Salvador del 10 de octubre de 1986.
- No dividen las macrofuentes sismogénicas en subfuentes, ya que al hacerlo, la actividad sísmica se concentraría en aquellas zonas que poseen mayor cantidad de registros, y se subestimaría en los lugares con poca información, lo que no sería representativo de la sismicidad de la región.

Alfaro et al (1990)¹². Desarrollan un estudio efectuado a raíz del terremoto de 1986 en El Salvador, considerando investigaciones previas, como las realizadas por Harlow et al (1988)¹³, que reflejaron un alto nivel de movimiento fuerte y una cantidad elevada de pérdidas en una área determinada.

¹⁰ Castellón, J.A., et al., "Estudio de las Atenuaciones de las Ondas Sísmicas para el AMSS.", Trabajo de Graduación para optar al grado de Ingeniero Civil, UCA, 1988.

¹¹ Ayala, R.; Ciudad Real, M.; Quezada, N., "Peligrosidad sísmica en El Salvador", Trabajo de Graduación presentado para optar al grado de Ingeniero Civil, UCA, San Salvador, El Salvador, 1989.

¹² Alfaro, C.; Kiremidjian, A.; White, R., "Seismic Zoning and Ground Motion Parameters for El Salvador", Department of Civil Engineering, Stanford University, Stanford, California, 1990.

¹³ Harlow, D.; White, R.; Rymer, M.; Alvarez, S.; Martínez, C., "The San Salvador Earthquake of October 10, 1986 and its Historical Context", Bulletin of the Seismological Society of America, 1988, vol 83, pp. 1143-1154.

En dicho estudio, se identifican cuatro fuentes sismogénicas que influyen en el territorio salvadoreño. Además, se crearon gráficos de probabilidad de excedencia contra aceleración máxima, para once localizaciones en el país, y mapas de peligrosidad para una probabilidad de excedencia del 10% en 100 y 500 años de vida útil, y con un 20% para 20 años de vida útil, cada uno asociado a períodos de retorno de 1000, 500 y 100 años respectivamente.

Singh et al (1993)¹⁴ . Realizan un estudio de análisis de peligrosidad sísmica elaborado en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), para poder ser utilizado en el nuevo código sísmico de la República de El Salvador.

La investigación presentó una zonificación sísmica que divide al país en dos zonas, asignando espectros de diseño distintos para cada una de ellas. Además, se hace una representación de la peligrosidad sísmica y presenta mapas de isoaceleración para períodos de retorno de 100, 500 y 1000 años.

Rojas et al (1993)¹⁵ . Presentan un modelo preliminar de zonificación sísmica regional para Centroamérica, con el que se pretende desarrollar una mejor investigación del nivel de potencialidad sísmica en la región y de las diferencias relativas entre niveles de peligrosidad sísmica existentes.

Hernández et al (1994)¹⁶ . Realizan el primer estudio nacional que aborda el tema de la determinación de espectros de respuesta para el diseño en base a ecuaciones de atenuación de ordenadas espectrales, diferente al resto de trabajos que elaboran sus espectros de diseño en base a la aceleración máxima del suelo.

¹⁴ Singh, S.; Gutiérrez, C.; Arboleda, J., "Peligro sísmico en El Salvador", Informe preparado para el Código de Diseño Sísmico de El Salvador, Universidad Nacional Autónoma de México, 1993.

¹⁵ Rojas, W.; Cowan, H.; Lindholm, C.; Dahle, A.; Bungum, H., "Regional Seismic Zonation for Central America. A Preliminary Model". Informe preparado para NORSAR, 1993, p.77.

¹⁶ Hernández, D.; Navarrete, A.; Salazar, W., "Evaluación de Espectros de Respuesta para el Diseño de Estructuras en El Salvador", Trabajo de Graduación presentado para optar al grado de Ingeniero Civil, UCA, San Salvador, El Salvador, 1994.

Los resultados de esta investigación son espectros de respuesta para el diseño, construidos mediante ordenadas espectrales para diferentes períodos y curvas de probabilidad de excedencia contra aceleración máxima del suelo.

Avalos et al (1995)¹⁷. Realizan un estudio con dos análisis claramente identificados. El primero de ellos, es un análisis de peligrosidad utilizando el método probabilístico de Cornell (1968). Se sigue la metodología de análisis empleada por Hernández et al (1994) y se realizan correcciones en los catálogos sísmicos y acelerográficos usados por éstos, debido a errores en la localización de algunos eventos.

La segunda componente, efectúa un análisis de sensibilidad sobre los resultados obtenidos de peligrosidad sísmica, a partir de modificaciones en parámetros asociados que intervienen en el proceso. En este trabajo se estudia la delimitación geométrica, lo completo del catálogo sísmico y la magnitud máxima.

El estudio determinó que el nivel de peligrosidad en un punto dentro de una zona sismogénica es menos afectado que uno fuera de dicha zona.

Carrillo et al (1995)¹⁸. El objetivo de este trabajo es el de proporcionar una serie de programas en lenguaje FORTRAN 77 para facilitar la evaluación de cada uno de los pasos del análisis de peligrosidad.

Para el estudio de la sismicidad se desarrollan programas que permiten obtener toda la información necesaria para representar el nivel de actividad sísmica de la zona en estudio a través de ecuaciones de recurrencia, así como obtener un catálogo sísmico más completo y ordenado.

¹⁷ Avalos, J.; Mejía, F.; Zúñiga, L., "Evaluación de la Sensibilidad de la Peligrosidad Sísmica en El Salvador con Respecto a la Parámetros Asociados", Trabajo de Graduación presentado para optar al grado de Ingeniero Civil, UCA, San salvador, El salvador, 1995.

¹⁸ Carrillo, C.; Garay, M.; Morales, M., "Desarrollo de un Grupo de programas para la Sismología aplicada a la Ingeniería", Trabajo de Graduación presentado para optar al grado de Ingeniero Civil, UCA, San salvador, El salvador, 1995.

En el análisis del movimiento fuerte se elaboran programas para obtener ecuaciones de atenuación en base al modelo de Crouse et al (1988)¹⁹, así como para evaluar la aplicabilidad de las ecuaciones de Joyner y Boore (1982)²⁰.

Para evaluar la peligrosidad, elaboran el programa CGMRISK, que se fundamenta en el método probabilístico de Cornell (1968), el cual determina el valor de probabilidad de excedencia correspondiente a un nivel de aceleración dado.

b) Estudios de vulnerabilidad.

Otro de los aspectos importantes en el estudio del riesgo sísmico es la vulnerabilidad, sobre la cual se han realizado los siguientes estudios:

Parker, Graham W. (1995)²¹. El estudio plantea un modelo de evaluación de vulnerabilidad para El Salvador, en las estructuras dañadas por el terremoto del 10 de octubre de 1986.

Dicho estudio, se enfocó específicamente a viviendas, analizando las distribuciones habitacionales y populares en cada municipio de cada departamento, esto se logró desarrollando mapas de densidad habitacional y de población. Estos datos, junto con funciones de pérdidas registradas y estudios de peligrosidad, permitieron hacer un primer estimado de daños a esperar en un evento futuro. El plan de trabajo que utilizó en San Salvador se dividió básicamente en dos etapas: trabajo de campo y recolección de datos; donde, la primera implica una valoración de las edificaciones en un área seleccionada, que incluye en primer lugar, la tipología de las construcciones, la edad y la uniformidad de los edificios, el número de establecimientos y la calidad de la construcción.

¹⁹ Crouse, C.B., K.V., Ground motions from subduction zone earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, 1988.

²⁰ Joyner, W.B. & Egores D.M., Prediction of earthquake response spectra. US Geological Survey Open - File Report, 1982.

²¹ Parker, G.W., Development of a Risk Model for El Salvador. Engineering Seismology and Earthquake Engineering, London, 1995.

La segunda etapa requiere de la recolección de datos, los cuales, al ser incorporadas dentro de un modelo de evaluación de daños existentes, permite analizar la vulnerabilidad de las viviendas.

Guinea et al (1995)²². Realizaron un trabajo sobre metodologías para la evaluación del riesgo sísmico con aplicación a instituciones educativas. Se recopiló datos del sismo del 10 de octubre de 1986 en la ciudad de San Salvador con los que se construyeron funciones de pérdida, que relacionan la intensidad sísmica y el porcentaje de estructuras dañadas. Los datos de peligrosidad que se necesitaron se tomaron de estudios previos.

Además, se hizo una evaluación del riesgo por deslizamientos de tierra ocurridos como efectos de un terremoto utilizando la metodología elaborada por S. Mora y W. Vahrson (1993) para Costa Rica.

En dicha metodología el riesgo de deslizamiento a experimentar en una región, HI, se determina con base en dos factores:

$$HI = SUCS * TRIG \quad (1.1)$$

donde SUCS representa la susceptibilidad de un talud y TRIG los factores de activación o de disparo.

La susceptibilidad SUCS se determina con base en tres factores:

$$SUCS = Sr * SI * Sh \quad (1.2)$$

Sr : Representa el relieve relativo que es función de la máxima diferencia de elevación en un área unitaria (km²).

²²

Guinea A., R.A. et al, "Metodologías para la evaluación del riesgo sísmico en El Salvador, con aplicación a las instituciones educativas.", Trabajo para optar al grado de Ingeniero Civil, UCA, 1995