

- Sl : Representa la litología del área.
 Sh : Representa la humedad relativa que se determina de los valores de precipitación acumulada en los 12 meses del año.

La activación TRIG de determina con base en dos factores:

$$\text{TRIG} = \text{Ts} + \text{Tp} \quad (1.3)$$

- Ts : Representa el movimiento sísmico y se basa en la intensidad que tiene un período de retorno de 100 años.
 Tp : Representa la intensidad de precipitación que se basa en la máxima precipitación diaria anual.

Dicho estudio elabora medidas de control y prevención de desastres, en especial para centros educativos.

1.2.3 Sismos y Hospitales.

El estudio de los daños causados por los terremotos destructores del presente siglo evidencia que los hospitales se encuentran entre sus principales afectados. Las consecuencias de un sismo en un centro de salud no sólo se presentan en el pánico del personal y pacientes o en un colapso total o parcial de su estructura, sino también por las pérdidas parciales o totales de la capacidad de función del sistema y por lo tanto de su capacidad de satisfacer y aliviar las demandas de la comunidad. Esta pérdida de función no está necesariamente ligada a que ocurra daño en la estructura sino también al nivel de organización y a la seguridad del equipamiento y contenido.

Las estadísticas en países del continente americano del comportamiento sísmico de los hospitales en el presente siglo, son en este sentido muy ilustrativas. Utilizando la información obtenida por Grases (1990) para un período de 15 años, se observa que un 20% de los hospitales de mayor complejidad afectados por algún evento sísmico sufrieron daño irreparable. Este patrón se repite en Chile donde se dañó aproximadamente el 33% de los establecimientos de salud ubicados en la región

afectada por el sismo del 13 de marzo de 1985, Tabla 1.2, y quedaron fuera de funcionamiento un 15% de las camas de los hospitales.²³

Estos daños no sólo tienen un impacto inmediato impidiendo proporcionar servicio médico, sino que implican una gran pérdida económica para el país, la que llega a ser significativa en términos de las pérdidas totales generadas por el sismo.

Además, las restricciones económicas típicas de un sector, impiden que éste se recupere rápidamente a los niveles anteriores y no son raros los casos de hospitales en que los efectos de un sismo aún se perciben después de 10 años.

Regiones afectadas	Establecimiento de salud		Número de camas	
	Total	Dañados	Total	Fuera Función
Quinta Región	111	30 (27.0%)	4,531.0	608 (13.4%)
Región Metropolitana	169	100 (59.2%)	11,499.0	1439 (12.5%)
Sexta Región	98	35 (35.7%)	1,421.0	352 (24.8%)
Séptima Región	158	15 (9.5%)	2,130.0	397 (18.6%)
Total Zona afectada	536	180 33.6%	19,581.0	2,796.0 (14.3%)

FUENTE: Boroschek, R.; Astroza, M.; Osorio, C.; Kausel, E., "Establecimiento de un plan nacional para la reducción de los efectos sísmicos en sistemas de salud", Tomado del Informe promulgado en la Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, México, 1996, p.2.

Tabla 1.2 Daños en la infraestructura del sector salud durante el terremoto del 13 de marzo de 1985 en Chile.

Todo esto contribuye a que el impacto social, económico y físico producido por la pérdida del nivel de función de un hospital genere un impacto político de gran complejidad.

²³

Boroschek, R.; Astroza, M.; Osorio, C.; Kausel, E., "Establecimiento de un plan nacional para la reducción de los efectos sísmicos en sistemas de salud", Tomado del Informe promulgado en la Conferencia Internacional sobre Mitigación de Desastres en Instalaciones de Salud, México, 1996, p.1.

En el caso de El Salvador, el terremoto del 10 de octubre de 1986 muestra otro ejemplo de las consecuencias ante tales fenómenos naturales. Para ello, a continuación se presentan una serie de datos que indican los niveles de pérdida registrados en dicho terremoto :

1.2.3.1 Pérdidas y daños.

El 10 de octubre de 1986, a las 11:49 hora local, un violento sismo sacudió la ciudad capital de El Salvador, San Salvador (Alvarez, 1987). El evento duró menos de 10 segundos, causando la destrucción parcial de algunos sectores y la destrucción total de otros en un área de aproximadamente 35 km², principalmente en sectores ubicados en el centro de la capital y áreas periféricas. El daño se centró principalmente en los edificios construidos de adobe y bahareque. El sismo tuvo una magnitud de 5.4 en la escala de Richter con una aceleración vertical máxima de 0.47g y una aceleración horizontal máxima de 0.72g a 4 km del epicentro. La profundidad focal fue aproximadamente de 8 km y el epicentro se ubicó a sólo 5 km al sur de San Salvador. La máxima intensidad fue estimada en IX MM.

Hubo un total de 1500 muertos debidos al terremoto, reportados por instituciones hospitalarias. Las cifras reportadas por la Cruz Roja Salvadoreña mostraron 10,000 personas heridas, estableciendo un total aproximado de 200,000 víctimas entre muertos, heridos y damnificados. Hubo un total de 60,000 viviendas dañadas, 1000 edificios destruidos o seriamente dañados tanto del sector público y privado, tales como hospitales, centros de salud, escuelas, institutos, universidades, bancos, fábricas e iglesias.²⁴

El daño en la infraestructura hospitalaria obligó a dar atención en tiendas de campaña, sin el equipo necesario para prestar los tratamientos que se requerían. En los tres días siguientes al sismo, el Ministerio de Salud reportó

²⁴ Durkin, Michael. The San Salvador Earthquake of October 10, 1986 - Casualties, Search and Rescue, and Response of the Health Care System, Earthquake Spectra, Vol. 3, No. 3, 1987, p. 621

4,789 casos de emergencia, de los cuales 2,815 casos fueron atendidos en unidades de salud y 1,974 en hospitales. Ver Tabla 1. 3.

De la tabla se puede observar que el número de casos atendidos en los Hospitales Rosales, Benjamín Bloom y Maternidad, los cuales fueron dañados por el sismo, asciende al 59% del total de casos atendidos, esto demuestra la necesidad de estudiar este tipo de estructuras, las cuales debido a su naturaleza social, son centros de vital importancia en la respuesta inmediata ante un terremoto y su objetivo no es solamente sobrevivir a un evento sísmico, sino que debe de estar capacitado para funcionar y así atender la demanda de la comunidad afectada, aún después de que ocurra tal evento.

El hospital de niños Benjamín Bloom, fue construido de concreto reforzado a finales de los años sesenta. Estaba conformado por una torre de 10 pisos y un edificio de tres pisos, siendo éste último el que sufrió colapso total.

El hospital Rosales, fue construido entre 1898 y 1901 de acero prefabricado, el cual experimentó daños. Irónicamente fue su nueva ampliación de concreto reforzado la que sufrió los mayores daños.

El hospital de Maternidad tuvo daños moderados, dentro de los cuales se incluye el daño estructural de tres columnas.

El hospital del ISSS experimentó pandeo en las columnas de los niveles más bajos del edificio de ocho pisos de enfermería. Además se agrietaron las paredes interiores de otros edificios que contenían la cocina, el cuarto de máquinas y la lavandería.²⁵

CENTROS DE SALUD	No de Víctimas Tratadas
San Jacinto	233
San Miguelito	70
Barrios	110
Concepción	322
Lourdes	116
Montserrat	193
Mejicanos	170
Cuscatancingo	223
San Antonio Abad	158
Ciudad Delgado	93
Soyapango	117
Santa Lucía	22
Amatepec	67
Zacamil	159
San Marcos	736
Santo Tomás	6
Santiago Texacuangos	20
TOTAL DE VÍCTIMAS EN CLÍNICAS	2815
Rosales	536
Bloom	307
Maternidad	328
San Bartolo	445
San Rafael	358
TOTAL DE VÍCTIMAS EN HOSPITALES	1974
TOTAL EN CLÍNICAS Y HOSPITAL	4789

Fuente : Durkin, M., "The San Salvador Earthquake of October 10, 1986 - Casualties, Search and Rescue, and Response of The Health Care System, *Earthquake Spectra*, Vol. 3, No. 3, 1987, p. 622.

TABLA 1.3 Heridos a causa del terremoto del 10 de octubre de 1986, tratados por el Ministerio de Salud en hospitales y clínicas (primeras 72 horas).

Dentro de los hospitales privados, dos de los tres de mayor importancia sufrieron tanto daños estructurales como no estructurales, siendo ellos la Policlínica Salvadoreña (actualmente Hospital Pro-Familia) y el Hospital Ginecológico.

Estos daños en la infraestructura hospitalaria afectaron sensiblemente la economía nacional. Para tener una idea de las pérdidas registradas, en función de la inversión necesaria en reconstruir el sistema de salud en esa época (1987), se presenta en tabla 1.4 : ²⁶.

Actividades	Gasto Estimado
1. Reconstrucción del Hospital Benjamín Bloom	\$ 16, 000,000
2. Reconstrucción del Hospital Rosales	\$ 16,000,000
3. Construcción de cuatro nuevos centros de salud (100 camas)	\$ 12,000,000
4. Construcción de cuatro nuevas clínicas	\$ 1,500,000
5. Reparación del Hospital de Maternidad	\$ 200,000
6. Reparación de daños en unidades de salud del AMSS	\$ 120,000
COSTO TOTAL	\$ 45,820,000 (US)

Fuente : Durkin. M., "The San Salvador Earthquake of October 10, 1986 - Casualties, Search and Rescue, and Response of The Health Care System, *Earthquake Spectra*, Vol. 3, No. 3, 1987 . p. 632..

TABLA 1.4 Estudio realizado en 1987 para determinar los costos de la reconstrucción del sistema público.

1.3 GENERALIDADES.

1.3.1 Importancia y justificación.

El Salvador es un país cuya actividad sísmica es elevada, debido a que se encuentra ubicado cerca de la zona de interacción de las placas tectónicas de Cocos y del Caribe. A lo largo de su historia ha sido víctima de eventos con diferentes grados de magnitud que han dejado pérdidas materiales y humanas.

Por ello, teniendo como objetivo minimizar el nivel de destrucción, surge la necesidad de diseños estructurales que consideren los efectos de las cargas laterales generadas por los sismos, tal como lo hacen los códigos actuales. No obstante, en aquellas estructuras ya construidas es primordial determinar la capacidad de soportar las sollicitaciones sísmicas, para proponer medidas de mitigación de daños.

En este trabajo se persigue determinar la vulnerabilidad sísmica y riesgo sísmico de edificios existentes, centrandó el estudio en centros hospitalarios y educativos. Estas estructuras tienen relevancia por dos razones, la primera por el tipo de población que albergan, y, segundo, dichas estructuras no sólo deben ser capaces de soportar las sollicitaciones sísmicas, sino que además, deben continuar su funcionamiento después del evento.

El estudio del grado de vulnerabilidad en las estructuras puede contribuir a la reducción de pérdidas humanas y materiales, siendo estas últimas trascendentales en la economía de cada país.

1.3.2 Problemática.

La problemática a resolver consiste en la evaluación de la vulnerabilidad y peligrosidad sísmica en los centros hospitalarios y educativos seleccionados, con el objeto de determinar su riesgo sísmico.

Una vez establecidos los resultados, se identificaron aquellas áreas de la estructura ya sean columnas, vigas, paredes o losas, que necesitan reforzarse o modificarse para disminuir la probabilidad de daños.

1.3.3 Alcances.

A partir del desarrollo de la investigación, se elaboró una metodología de carácter cualitativo que sirve de apoyo para la evaluación del nivel de vulnerabilidad sísmica.

Dicha metodología, tiene su fundamento de acuerdo al método propuesto por Soliman et al (1990), la cual es aplicable únicamente a marcos de concreto reforzado. Debido a que las estructuras escogidas para el presente estudio son de mampostería confinada y de mampostería con refuerzo integral, fue necesario realizar ciertas adecuaciones para que ésta pueda abarcar los diferentes tipos de sistemas constructivos.

Así, se realizó un análisis de cada uno de los factores del método para determinar cuáles de ellos podían aplicarse a las nuevas estructuras en estudio. Se realizaron las modificaciones necesarias, haciendo uso

de Códigos de Diseño vigentes y del Reglamento de Diseño Sísmico de El Salvador.

La aplicación del método original y de sus adecuaciones, necesita la cuantificación de las características físicas de las estructuras. Algunas de ellas son: grietas del edificio, edad de la edificación, historial de intensidades registradas en la región, esbeltez de los elementos, distribución de rigideces, configuración en planta y elevación de las edificaciones, dimensiones de elementos (columnas y vigas), espesor de paredes, detalles de refuerzo longitudinal y transversal, etc.

Dicha información se recopiló a través de visitas de campo a cada uno de los sitios en estudio, planos arquitectónicos y estructurales e informes de estudios de suelos en los emplazamientos.

El cálculo de la vulnerabilidad sísmica y riesgo sísmico se hace de acuerdo al método propuesto para cada tipo de estructura.

1.3.4 Hipótesis de trabajo y objetivos.

1.3.4.1 Hipótesis de trabajo.

Se pretende determinar la vulnerabilidad sísmica de los centros en estudio, a través de una metodología de carácter cualitativo aplicable a estructuras de concreto reforzado. Esta será modificada de tal manera que pueda ser utilizada en estructuras de mampostería confinada y de mampostería con refuerzo integral, incluyendo tanto sistemas de techo rígido como flexible. A partir de lo anteriormente expuesto, se plantea la siguiente hipótesis:

“La metodología elaborada por Soliman et al (1990) junto con las adecuaciones que se realicen en ella, permitirá evaluar la vulnerabilidad, peligrosidad y riesgo sísmico de las edificaciones en estudio”.

1.3.4.2 Objetivos Generales y Específicos.

Objetivos Generales.

- a) Adecuar y aplicar una metodología empírica para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en diferentes tipos estructurales.
- b) Evaluar la vulnerabilidad y riesgo sísmico de nueve centros hospitalarios y un centro educativo, a través de una metodología que tome en cuenta las características físicas más importantes de la estructura, la peligrosidad sísmica de la zona en estudio, las propiedades de los suelos y el potencial de licuefacción del suelo.
- c) Proponer medidas de mitigación de daños en aquellas estructuras que así lo requieran, considerando los resultados obtenidos a través de la aplicación del método.
- d) Hacer una caracterización completa de las instalaciones donde se encuentran ubicados los centros educativos y de salud, es decir, planos arquitectónicos y estructurales, detalles estructurales y estudios de suelos .

Objetivos Específicos.

- a) Conocer en base a la información obtenida de las investigaciones de campo la condición actual de los edificios, es decir, la existencia de grietas, el uso actual del edificio, grado de mantenimiento y cambios en la distribución en planta y elevación con respecto a los planos respectivos.
- b) Dar a conocer en base a un fundamento teórico, el procedimiento a seguir para la aplicación y adecuación del método considerado.

1.3.5 Delimitaciones y Limitaciones.

Delimitaciones.

1) Delimitación espacial.

El estudio se realizará en cuatro hospitales, cinco unidades de salud y un centro educativo (lugares donde se ha instalado la red TALULIN de acelerógrafos) los cuales se muestran en la tabla 1.5.

LUGARES DE ESTUDIO	SISTEMA ESTRUCTURAL	DEPARTAMENTO
Hospital Nacional de San Bartolo	Mampostería confinada con Estructura de techo flexible	San Salvador
Hospital San Rafael, Santa Tecla	Marcos de concreto reforzado	La Libertad
Hospital Santa Gertrudis, San Vicente	Mampostería con refuerzo integral y Estructura de techo flexible	San Vicente
Hospital Santa Teresa, Zacatecoluca	Marcos de concreto reforzado	La Paz
Unidad de Salud de Armenia	Mampostería confinada con Estructura de techo flexible y techo rígido	Sonsonate
Unidad de Salud de La Libertad	Mampostería con refuerzo integral y Estructura de techo flexible	La Libertad
Unidad de Salud de Panchimalco	Mampostería confinada con Estructura de techo rígido	San Salvador
Unidad de Salud San Pedro Nonualco	Mampostería con refuerzo integral y Estructura de techo flexible	La Paz
Unidad de Salud de Tonacatepeque	Mampostería confinada con Estructura de techo flexible	San Salvador
Colegio Externado San José	Mampostería con refuerzo integral y Estructura de techo flexible	San Salvador

Tabla 1.5 Lugares de Estudio .

La selección de estos sitios como estaciones de registro, obedece a los siguientes criterios :

- a) En las cercanías donde se encuentran emplazados los sitios antes descritos, se ha obtenido información de movimientos sísmicos que han causado daños a través de la historia de este país. Este hecho marca la pauta para poder cuantificar los posibles efectos sobre dichos centros, con el fin de proponer medidas de mitigación de daños. Ver Tabla 1.6 .

FECHA	REGION	DESCRIPCION DEL DAÑO
1906	San Salvador	Se destruye considerablemente la capital.
1912	Occidente	Daños ligeros en Armenia, Izalco y Santa Ana
1915	Juayúa	Terremoto severo causa daños en Juayúa
1917	Central y Occidente	Se destruye San Salvador, Apopa, Nejapa, Quezaltepeque, Opico y Armenia por la erupción del Boquerón
1919	San Salvador	Violento terremoto destruye San Salvador y Soyapango
1921	Central	Zacatecoluca destruida, grandes daños en San Juan Nonualco y San Nicolás Lempa. Se declara catástrofe nacional.
1932	Zacatecoluca	Ruina completa en Zacatecoluca
1936	San Vicente	Ruina total en la ciudad de San Vicente, y Villa de San Esteban
1937	Ahuachapán	Terremoto destruye las ciudades de Ahuachapán, Atiquizaya y Turín
1947	La Unión	Sacudida causa daños en La Unión
1951	Jucuapa	Fuerte terremoto destruye Jucuapa, Chinameca, San Buena Ventura y Nueva Guadalupe
1965	San Salvador	Largo terremoto destruye las áreas de San Salvador, Ilopango, Soyapango y vecindades
1982	San Salvador	Daños en San Salvador
1986	San Salvador	Daños severos en San Salvador

Fuente: Parker, G.W., "Development of a Risk Model for El Salvador". *Engineering Seismology and Earthquake Engineering*, London, 1995. p. 15.

Tabla 1.6 Historia de los terremotos ocurridos en El Salvador período de 1900 - 1986 .

- b) Obtener una buena distribución azimutal y de distancias para sismos localizados (ver figuras 1.2, 1.3, 1.4 y 1.5) :
- Al sur-este del volcán de Santa Ana .
 - En los alrededores de San Salvador .
 - En los alrededores del volcán de San Vicente.

- c) Cubrir los sismos de la subducción superficial e intermedia, debido a la influencia que tiene esta zona en la actividad sísmica en El Salvador, razón por la cual se ha ubicado un instrumento en la zona costera del departamento de La Libertad (ver figura 1.1).

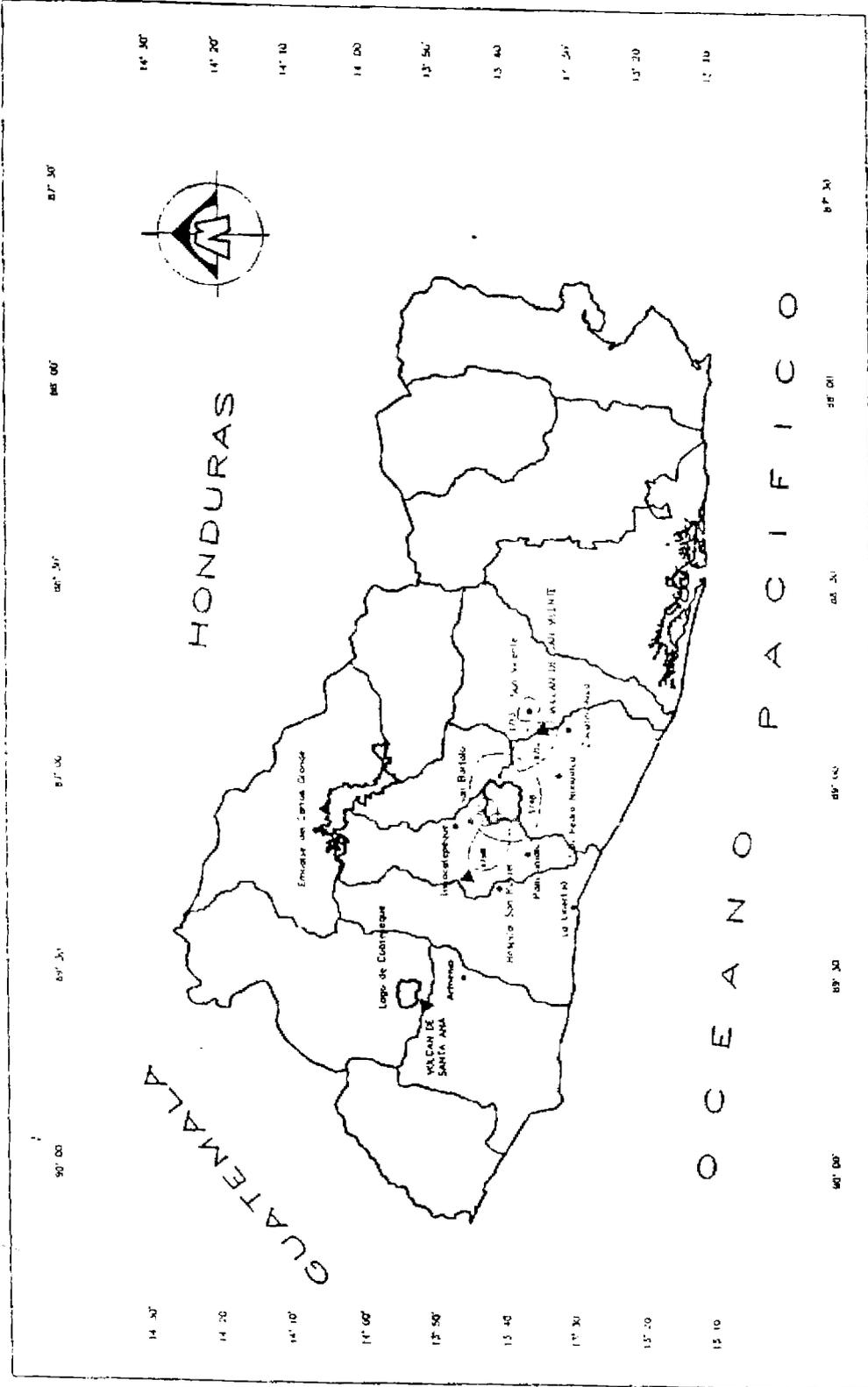
2) Delimitación del contenido

La investigación se enfocará a cuantificar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico en los centros hospitalarios y educativos escogidos, principalmente a través de la metodología planteada por Soliman et al (1990). Considerando que el método es aplicable sólo a edificaciones de concreto reforzado, se adaptarán aquellos factores que sean necesarios, dependiendo de los diferentes tipos de estructuras que se presenten. Además, se harán modificaciones en aquellos factores que se consideren deficientes.

En caso de que los resultados obtenidos a partir de la aplicación de este método, sea desfavorable, queda fuera del alcance de la presente investigación un rediseño de las estructuras en estudio, limitándose solamente a proponer medidas de mitigación de daños.

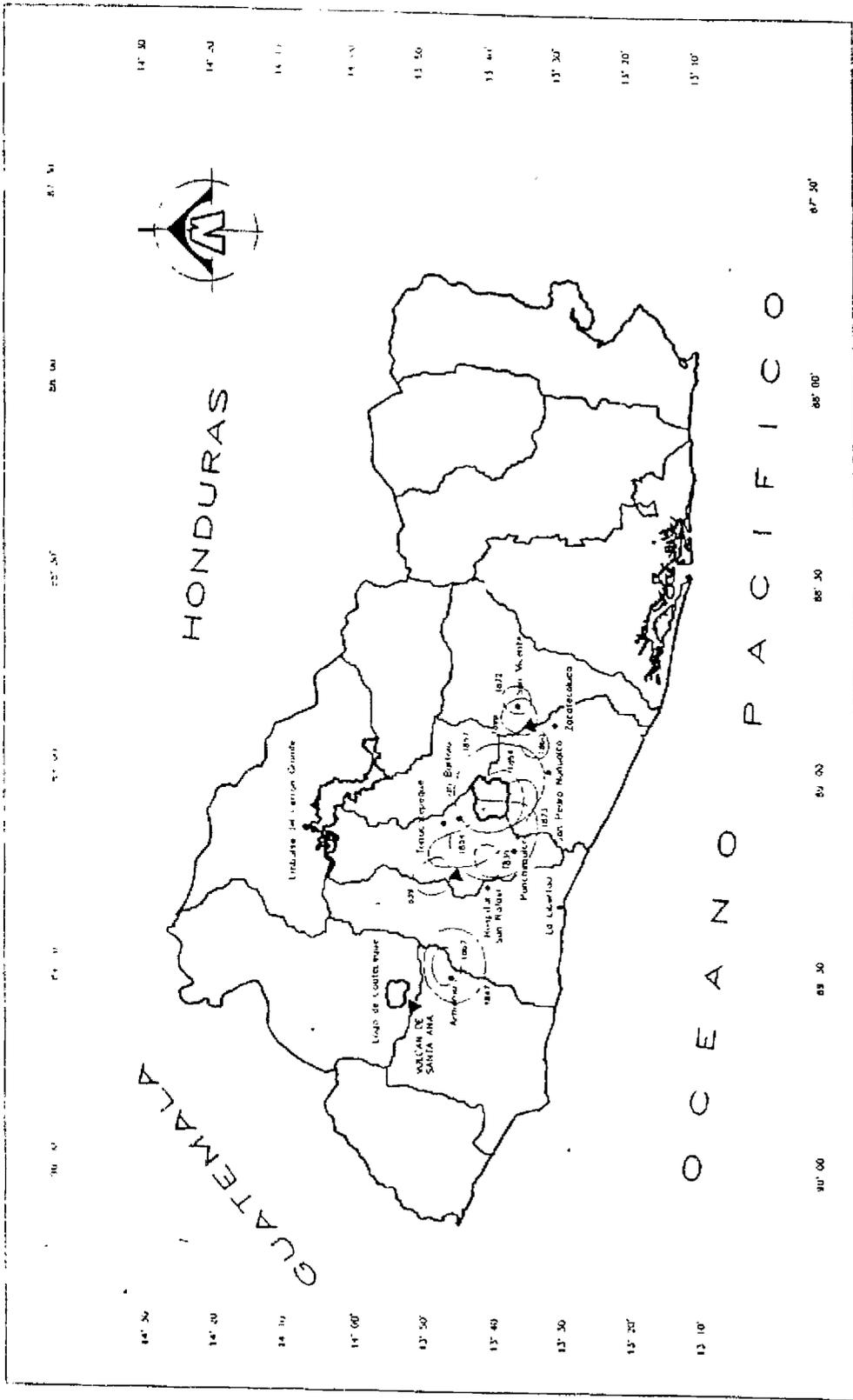
Limitaciones

- a) No contar con juegos completos de planos estructurales y arquitectónicos se constituye en una seria limitante, porque el método a utilizar requiere de una serie de detalles contenidos en éstos. Es importante aclarar que el método es aplicable aún en ausencia de dicha información, pero el resultado obtenido sería una estimación demasiado conservadora de la capacidad sísmica del edificio.
- b) Debido a que el método a utilizar requiere del análisis detallado de cada una de las características que lo definen, el tiempo es otra limitante a considerar. En este sentido, no podrá aplicarse más de un método para la evaluación de la vulnerabilidad de cada estructura.



FUENTE : ADAPTADO DE HARLOW, DAVID, THE SAN SALVADOR EARTHQUAKE OF 10 OCTOBER 1966 AND ITS HISTORICAL CONTEXT, EARTHQUAKE SPECTRA, BULLETIN OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 1968, P. 1151

Figura 1.2 Mapa de curvas Isosistas > VII (MM)
(Período 1700 - 1799)



FUENTE : ADAPTADO DE HARLOW, DAVID, THE SAN SALVADOR EARTHQUAKE OF 10 OCTOBER 1899 AND ITS HISTORICAL CONTEXT, EARTHQUAKE SPECTRA, BULLETIN OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA, 1993, P. 1151

Figura 1.3 Mapa de curvas Isosistas > VII (MM)
(Período 1800 - 1899)

