

UNIVERSIDAD MARIANO GALVEZ DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**“DAÑOS POR SISMO EN ESTRUCTURAS”
GUIA PARA EVALUACION**

SEMINARIO REALIZADO POR UN GRUPO DE
ESTUDIANTES DE INGENIERIA CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 1996

UNIVERSIDAD MARIANO GALVEZ DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

“DAÑOS POR SISMO EN ESTRUCTURAS”
GUIA PARA EVALUACION

SEMINARIO

Presentado por 17 estudiantes previo a conferirseles el titulo de

INGENIERO CIVIL

en el grado académico de

LICENCIADO

Guatemala, octubre de 1996

INTRODUCCION.

En varias regiones del mundo existe la posibilidad de ocurrencia de terremotos, pero en Guatemala el riesgo de una catástrofe de este tipo es muy grande debido a su peculiar ubicación geográfica.

La preocupación de vivir en una zona de alto riesgo sísmico tal como la nuestra, nos obliga a tratar de conocer bien el fenómeno y prepararnos para afrontar la situación de la mejor manera posible. Entre el sin número de aspectos que esta problemática abarca está el de evaluación de las edificaciones, para determinar el grado de seguridad que puedan brindar, para su utilización después de un terremoto.

Para efectuar una evaluación adecuada es necesario establecer criterios y lineamientos generales, que permitan de forma rápida determinar el estado general de una edificación, esto constituye el principal objetivo del presente trabajo.

El trabajo consta de una primera parte (capítulos 1 a 3), en la que se encuentra información general sobre el tema y metodología recomendada para la evaluación de las edificaciones, en la segunda parte se encuentran inicialmente los lineamientos para el reconocimiento de daños geotécnicos (capítulo 4), y luego se presentan las indicaciones pertinentes para la evaluación de estructuras según el material de que estén construidas (capítulos 5 a 10).

Con este trabajo no se pretende abarcar la totalidad de los casos que se pueden presentar, por lo que recomendamos se considere como un inicio, y que en trabajos posteriores se mejore e incremente, considerando estructuras de otro tipo como carreteras, puentes, presas, edificaciones industriales y otras; además, se puede adicionar la evaluación de diferentes tipos de instalaciones como instalaciones eléctricas, drenaje, agua potable (acueductos), gas y de sustancias peligrosas.

METODOLOGIA.

Este trabajo es el resultado del seminario desarrollado por un grupo de estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Los participantes en el seminario se dividieron en siete grupos, quedando integrados de la forma siguiente:

Grupo 1

Alvarez Alvarez, Raúl Alfonso
Ortiz Herrarte, Joaquín Arturo
Peláez Alvarez, Byron Danilo

Grupo 2.

Cuz Kuckling, Eugenio Augusto
Sabetián Roohani, Ahmad

Grupo 3:

Chavarría Moreno, Manuel Ramiro
Salvatierra Menéndez, Francisco Giovanni

Grupo 4:

Castillo Zamora, Jorge Roberto
Mazariegos Maldonado, Antonio Silverio
Soza Ordóñez, Jorge Antonio

Grupo 5:

Arévalo de Aguilera, María Adela
Engel Arévalo, Silvia Patricia

Grupo 6:

Enríquez Díaz, Jorge Octavio
van Beusekom Willemsen, Luc Johannes Zeger

Grupo 7.

Aguilar Caridi, Francisco Javier
Cabrera Sánchez, Sergio Fernando
Rosenberg Echeverría, Carlos Enrique

La elaboración del trabajo se hizo en base a investigación bibliográfica, entrevistas personales de especialistas y estudio de casos en terremotos pasados.

Para la investigación de la primera parte se contó con el aporte de todos los grupos, quienes reportaron diferentes temas, siendo esta redactada por los siguientes participantes

Alvarez Alvarez, Raúl Alfonso
Cabrera Sánchez, Sergio Fernando
Enríquez Díaz, Jorge Octavio
Ortiz Herrarte, Joaquín Arturo
van Beusekom Willemsen, Luc Johannes Zeger.

En la elaboración de la segunda parte (capítulos del 4 al 10), cada uno de los grupos desarrolló un capítulo, de la siguiente manera:

| | |
|----------|------------------------|
| Grupo 1: | Daños geotécnicos |
| Grupo 2 | Adobe. |
| Grupo 3 | Mampostería. |
| Grupo 4. | Concreto reforzado. |
| Grupo 5: | Concreto prefabricado. |
| Grupo 6: | Acero. |
| Grupo 7 | Madera. |

Se contó con el apoyo y activa participación durante el desarrollo del presente seminario, del Decano de la Facultad de Ingeniería Civil, Ingeniero Hans Joaquín Lottmann Edelmann, coordinando y supervisando la elaboración del mismo. También se contó con la colaboración del Ingeniero Roberto Mayorga Rouge como facilitador del seminario.

Para el desarrollo del trabajo se entrevistó a los siguientes profesionales entendidos en la materia:

Ing. Roberto Emilio Solís Hegel.

Ing. José Carlos Gil Rodríguez.

Dr. Rodolfo Semrau Lago

Ing. Jorge Mario Vettorazzi Gándara.

Ing. Julio Víctor Guzmán De León

Dr. Héctor Monzón Despang

A quienes se les agradece su atención, colaboración y valiosos aportes al presente seminario.

Ojalá que el resultado del presente seminario pueda servir de base y motivación a las entidades y personas relacionadas con el tema, para llegar a poner en práctica una metodología uniforme cuando se evalúen los daños producidos por un sismo en Guatemala.

CONTENIDO.

| | |
|---|-----------|
| 1 AMENAZAS NATURALES. | 7 |
| 1.1 GENERALIDADES | 9 |
| 1.2 FENOMENOS SISMICOS | 11 |
| 1.2.1 CAUSAS DE LOS SISMOS | 11 |
| 1.2.2 EPICENTRO E HIPOCENTRO. | 17 |
| 1.2.3 ONDAS SISMICAS. | 18 |
| 1.3 MEDICION DE LOS SISMOS. | 19 |
| 1.3.1 ESCALAS DE LOS SISMOS. | 19 |
| 1.4 ZONAS GEOLOGICAS Y PRINCIPALES FALLAS EN GUATEMALA | 24 |
| REFERENCIAS | 31 |
| BIBLIOGRAFIA. | 32 |
| | |
| 2 PARAMETROS DE VULNERABILIDAD Y DAÑOS EN ESTRUCTURAS. | 35 |
| 2.1 FACTORES QUE HACEN VULNERABLE UNA ESTRUCTURA. | 37 |
| 2.1.1 IRREGULARIDADES EN PLANTA. | 37 |
| 2.1.2 IRREGULARIDADES EN ELEVACION | 44 |
| 2.2 TIPOS DE DAÑOS. | 51 |
| 2.2.1 DAÑOS ESTRUCTURALES. | 51 |
| 2.2.2 DAÑOS NO ESTRUCTURALES. | 52 |
| BIBLIOGRAFIA. | 54 |
| | |
| 3 EVALUACION DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS. | 55 |
| 3.1 METODO DE EVALUACION | 57 |
| 3.1.1 OBJETIVO | 57 |
| 3.1.2 CONOCIMIENTOS QUE DEBEN TENER LOS EVALUADORES DE DAÑOS | 58 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2 PROCEDIMIENTO Y CRITERIO PARA LA EVALUACION. | 59 |
| 3.2.1 EVALUACION EXTERNA DE LA EDIFICACION | 59 |
| 3.2.2 EVALUACION DE DAÑOS GEOTECNICOS. | 60 |
| 3.2.3 IDENTIFICACION DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA. | 60 |
| 3.2.4 EVALUACION INTERNA DE LA EDIFICACION. | 60 |
| 3.2.5 CLASIFICACION DE DAÑO Y COLOCACION DE ETIQUETAS. | 61 |
| 3.2.6 RECOMENDACIONES. | 63 |
| 3.2.7 ESQUEMAS. | 63 |
| BIBLIOGRAFIA. | 68 |
| | |
| 4 DAÑOS GEOTECNICOS. | 69 |
| 4.1 GENERALIDADES. | 71 |
| 4.2 ASENTAMIENTOS. | 73 |
| 4.3 CORRIMIENTOS. | 75 |
| 4.4 GRIETAS | 78 |
| 4.5 DESLIZAMIENTOS. | 79 |
| 4.6 DERRUMBES | 83 |
| 4.7 LICUEFACCION. | 84 |
| 4.8 EVALUACION DE DAÑOS | 87 |
| REFERENCIAS | 89 |
| BIBLIOGRAFIA | 90 |
| | |
| 5 ESTRUCTURAS DE ADOBE. | 93 |
| 5.1 GENERALIDADES. | 95 |
| 5.2 ELEMENTOS. | 96 |
| 5.2.1 MUROS | 96 |
| 5.2.2 COLUMNAS | 96 |
| 5.2.3 DINTELES (EN ABERTURAS, PUERTAS Y VENTANAS) | 97 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.2.4 | CIMENTACIONES | 97 |
| 5.2.5 | ELEMENTOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS. | 97 |
| 5.3 | SISTEMAS ESTRUCTURALES | 98 |
| 5.3.1 | ESTRUCTURAS TIPO CAJON | 98 |
| 5.3.2 | ESTRUTURAS EN "C" | 98 |
| 5.3.3 | TIPOS DE TECHO | 98 |
| 5.4 | DESCRIPCION DE FALLAS | 99 |
| 5.5 | EVALUACION DE DAÑOS. | 101 |
| | REFERENCIAS. | 105 |
| | BIBLIOGRAFIA. | 106 |
| 6 | ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA. | 107 |
| 6.1 | GENERALIDADES | 109 |
| 6.2 | ELEMENTOS | 110 |
| 6.3 | SISTEMAS ESTRUCTURALES | 111 |
| 6.4 | DESCRIPCION DE FALLAS. | 112 |
| 6.5 | EVALUACION DE DAÑOS | 115 |
| | BIBLIOGRAFIA. | 118 |
| 7 | ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO. | 119 |
| 7.1 | GENERALIDADES. | 121 |
| 7.2 | ELEMENTOS. | 122 |
| 7.2.1 | COLUMNAS. | 122 |
| 7.2.2 | VIGAS. | 122 |
| 7.2.3 | LOSAS | 122 |
| 7.2.4 | MUROS. | 122 |
| 7.2.5 | GRADAS. | 123 |
| 7.2.6 | CIMIENTOS | 123 |
| 7.3 | SISTEMAS ESTRUCTURALES | 124 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 7.3.1 | MARCOS RIGIDOS | 124 |
| 7.3.2 | MARCOS RIGIDOS Y MUROS DE CORTE | 124 |
| 7.3.3 | ESTRUCTURAS TIPO CAJON. | 124 |
| 7.3.4 | ESTRUCTURAS ESPECIALES. | 125 |
| 7.4 | DESCRIPCION DE FALLAS | 126 |
| 7.5 | EVALUACION DE DAÑOS | 132 |
| | BIBLIOGRAFIA | 135 |
| 8 | ESTRUCTURAS DE CONCRETO PREFABRICADO. | 137 |
| 8.1 | GENERALIDADES. | 139 |
| 8.2 | ELEMENTOS. | 140 |
| 8.2.1 | COLUMNAS. | 140 |
| 8.2.2 | MUROS. | 141 |
| 8.2.3 | PANELES DE FACHADA. | 142 |
| 8.2.4 | VIGAS Y VIGUETAS | 142 |
| 8.2.5 | CUBIERTAS Y ENTREPISOS. | 144 |
| 8.2.6 | GRADAS. | 147 |
| 8.3 | SISTEMAS ESTRUCTURALES | 148 |
| 8.3.1 | MARCOS | 148 |
| 8.3.2 | ESTRUCTURAS TIPO CAJON | 150 |
| 8.3.3 | SISTEMA TILT•UP (MUROS DE ABATIMIENTO VERTICAL) | 153 |
| 8.4 | DESCRIPCION DE FALLAS. | 154 |
| 8.5 | EVALUACION DE DAÑOS. | 164 |
| | REFERENCIAS. | 167 |
| | BIBLIOGRAFIA | 168 |
| 9 | ESTRUCTURAS DE ACERO. | 169 |
| 9.1 | GENERALIDADES. | 171 |
| 9.2 | ELEMENTOS | 172 |

| | |
|--|------------|
| 9 2 1 COLUMNAS. | 172 |
| 9.2.2 VIGAS. | 172 |
| 9 2.3 ARRIOSTRES. | 172 |
| 9 2.4 MIEMBROS A TENSION. | 173 |
| 9 2.5 CABLES. | 173 |
| 9.3 SISTEMAS ESTRUCTURALES. | 174 |
| 9 3.1 MARCOS RIGIDOS | 174 |
| 9 3 2 MARCOS ARRIOSTRADOS. | 175 |
| 9.3 3 MARCOS CON MUROS DE CONCRETO O DE MAMPOSTERIA. | 177 |
| 9.3.4 ARMADURAS | 178 |
| 9 3 5 ARMADURAS TRIDIMENSIONALES. | 179 |
| 9 3.6 ENTREPISOS. | 180 |
| 9.3.7 TECHOS O CUBIERTAS. | 182 |
| 9 3.8 GRADAS. | 183 |
| 9.4 DESCRIPCION DE FALLAS. | 184 |
| 9.5 EVALUACION DE DAÑOS. | 191 |
| REFERENCIAS. | 194 |
| BIBLIOGRAFIA. | 195 |
| | |
| 10 ESTRUCTURAS DE MADERA. | 197 |
| 10.1 GENERALIDADES | 199 |
| 10 2 SISTEMAS ESTRUCTURALES. | 200 |
| 10.2.1 VIGAS Y COLUMNAS | 200 |
| 10 2.2 TABIQUES | 204 |
| 10.2 3 ENTREPISOS. | 205 |
| 10.2.4 TECHOS. | 208 |
| 10.3 UNIONES. | 210 |
| 10.4 DESCRIPCION DE FALLAS. | 215 |

| | |
|---|------------|
| 10.5 EVALUACION DE DAÑOS. | 224 |
| BIBLIOGRAFIA. | 226 |
| ANEXO 1 | 227 |
| MODELOS RECOMENDADOS PARA LAS ETIQUETAS | |

CAPITULO **1**

AMENAZAS NATURALES.

1 AMENAZAS NATURALES.

1.1 GENERALIDADES.

Es inevitable estar sujeto a amenazas producidas por fenómenos naturales que son adversos a la vida, la seguridad del hombre y a sus edificaciones. Estos fenómenos que conllevan peligro pueden ser atmosféricos, hidrológicos, volcánicos, geológicos y sísmicos.

Las amenazas producidas por los fenómenos atmosféricos incluyen huracanes, tornados, tormentas tropicales, incendios y granizo. Todos ellos están caracterizados por masas de aire que se mueven a grandes velocidades y causan daño por el impacto en las estructuras, así como por objetos que vuelan como consecuencia del viento. A veces están acompañados por fuertes precipitaciones pluviales que pueden durar varios días, provocando la saturación y la pérdida de cohesión de los suelos, inundaciones y derrumbes, entre otros.

Las amenazas producidas por los fenómenos hidrológicos incluyen inundaciones, causadas por el desbordamiento de los ríos por una excesiva escorrentía, consecuencia de fuertes precipitaciones pluviales, desertificación, erosión, sedimentación, salinización, sequías y olas ciclónicas (elevación anormal del nivel del mar, asociado con huracanes y otras tormentas).

Las amenazas producidas por fenómenos volcánicos incluyen tefra (lanzamiento de cenizas), gases tóxicos, flujo de lava y fangos, explosiones y flujos piroclásticos. Los fenómenos volcánicos se derivan de dos clases de erupciones: las explosivas, que se originan por la rápida disolución y expansión del gas desprendido por las rocas fundidas y que imponen una amenaza al desparramar bloques y fragmentos de roca y lava, y las erupciones efusivas, cuya mayor amenaza es el flujo de materiales de diversa naturaleza (fango, ceniza, lava) y cuya acción está determinada por la gravedad, topografía y viscosidad del material.

Los fenómenos geológicos e hidrológicos incluyen avalanchas, suelos expansivos, deslizamientos, desprendimientos de roca, deslizamientos submarinos y hundimientos de tierra. Tales fenómenos pueden originarse por un incremento en la humedad del suelo, lo cual provoca pérdida de cohesión y mayor lubricación, aumentando el peso del material. Algunos de estos fenómenos también pueden ser activados por sismos y erupciones volcánicas.

Los fenómenos sísmicos, cuya ocurrencia está ligada a la conformación de la corteza terrestre y al movimiento de las placas tectónicas, son los que presentan mayor interés para el presente trabajo, por lo que son tratados más detalladamente.

1.2 FENOMENOS SISMICOS.

Entre los fenómenos de origen sísmico están los temblores de tierra, los movimientos en las fallas, dispersiones laterales, licuefacción y los tsunamis (mal llamados maremotos) Estos fenómenos se caracterizan por un rápido inicio, impacto geográfico limitado, falta de predecibilidad y gran poder destructivo.

Los temblores de tierra son la vibración producida por la liberación de energía acumulada en las placas tectónicas o por actividad volcánica.

Las dispersiones laterales y la licuefacción son producidas por la saturación de suelos poco consolidados, en combinación con una vibración del suelo. Aún con topografías suaves, pueden llegar a producirse a grandes distancias del origen de un sismo.

1.2.1 CAUSAS DE LOS SISMOS.

La teoría más confiable de las causas de los sismos es la de las placas tectónicas, la cual señala que la tierra está cubierta por varias placas duras que interactúan unas con otras.

Las placas tectónicas duras (litósfera), se asientan en una relativamente suave (astenosfera), y se mueven como cuerpos rígidos (ver figura 1.1)

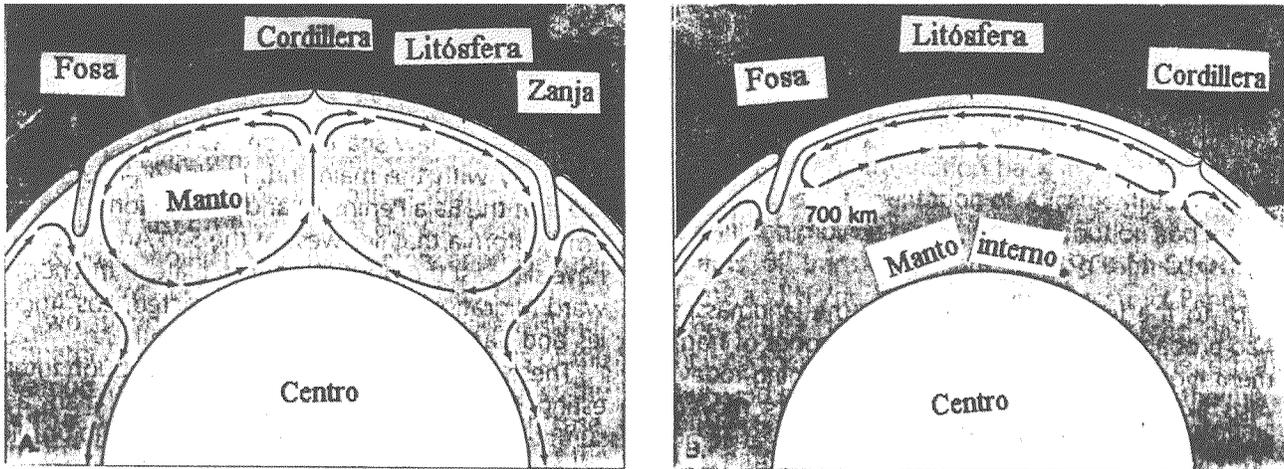


Figura 1.1

Modelo de placas tectónicas.

En los límites de las placas existen las Cordilleras Mezoceánicas, donde aflora el magma hacia la superficie terrestre, que al enfriarse incrementa la placa, expandiéndose horizontalmente. Las placas tectónicas se cruzan en las fallas de transformación, donde se provoca el deslizamiento entre ellas o se absorben de regreso al manto interno. A menudo los sismos se generan en las zonas de transformación, provocados por el deslizamiento de una placa contra otra o por el deslizamiento por subducción.

Otro límite de las placas son los denominados arcos de islas (figura 1.5), que son una cadena de islas formando un arco cercano a la unión de dos placas. Un arco de islas presenta un alto potencial de sismicidad e incluye uno o varios volcanes a lo largo de su eje.

En los arcos de islas, los sismos se generan por el deslizamiento de una placa hacia abajo de otra (subducción). En los costados del océano Pacífico, en Centro y Sur América no se presentan islas, sin embargo, se tratan como arcos de islas debido a que todas sus características son iguales a estos.

Los límites de las diferentes placas tectónicas de la corteza terrestre, así como las zonas de subducción y de diseminación se ven ilustradas en la figura 1.2. Los sismos con grandes magnitudes ocurridos en el presente siglo, se han localizado en los alrededores de las zonas de contacto entre placas, según se aprecia en la figura 1.3.

En la figura 1.4 se ilustra un esquema de las placas tectónicas, la dirección del movimiento relativo entre ellas y la sismicidad en las áreas de contacto de placas, para la región de Centroamérica y el Caribe.

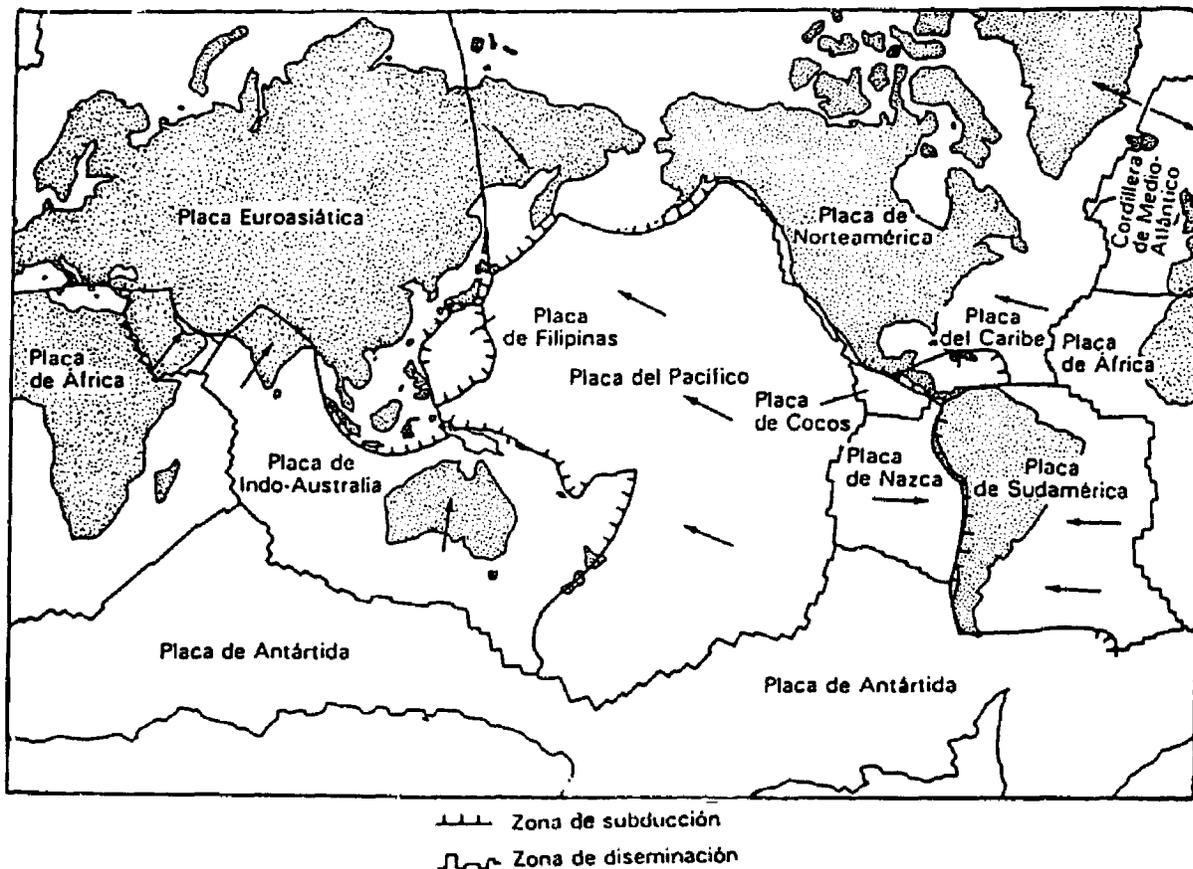


Figura 1.2
 Mapa de placas tectónicas del mundo.

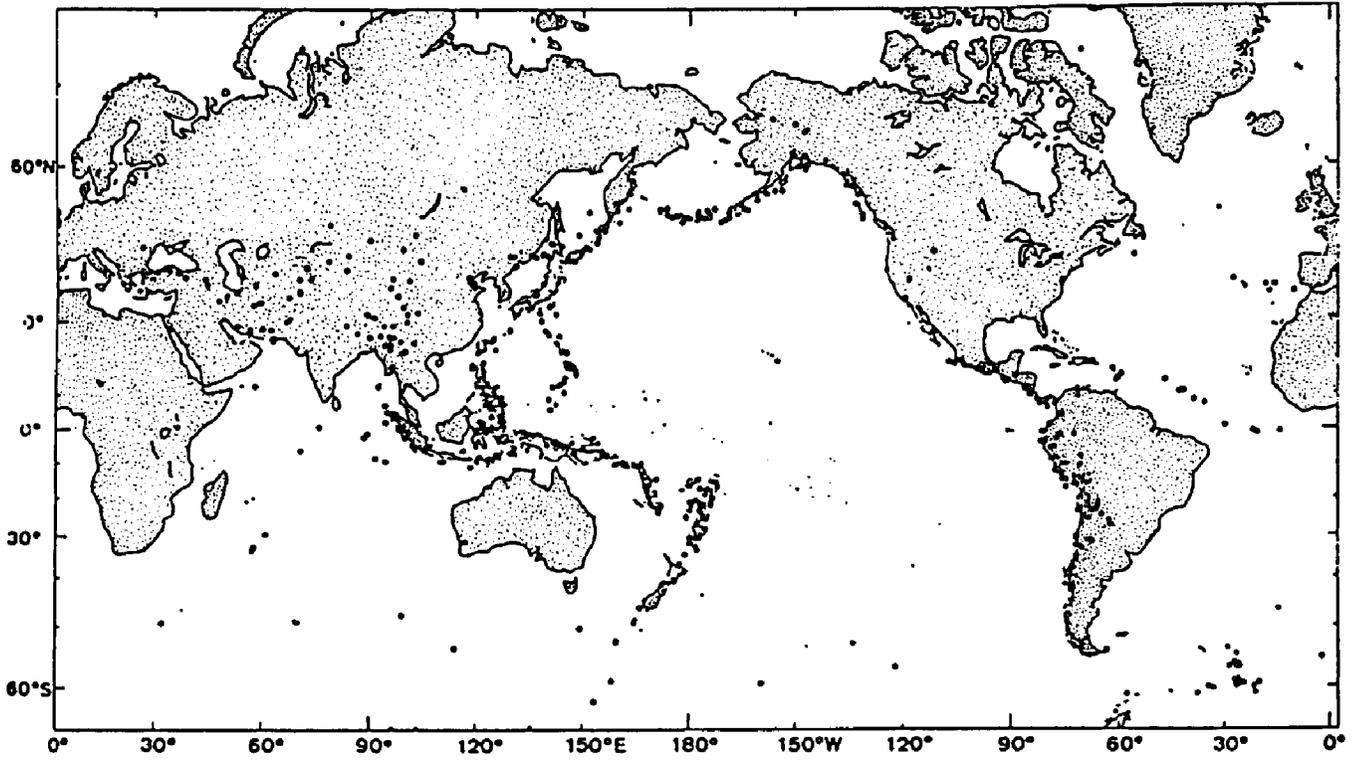


Figura 1.3

Mapa sísmico del mundo con epicentros de sismos de grandes magnitudes.



Figura 1.4

Conjunto de placas tectónicas y sismicidad, en Centroamérica.

1.2.2 EPICENTRO E HIPOCENTRO.

El punto de origen de un sismo, donde se inicia la ruptura y donde se originan las ondas sísmicas, es el hipocentro, se le conoce también como foco o centro

El epicentro es el punto sobre la superficie de la tierra proyectado verticalmente desde el hipocentro

La acción sísmica se propaga desde el foco a través de una región del cuerpo terrestre circunvecino llamada región focal. Mientras mayor es el sismo, más grande es la región focal.

Dependiendo de la profundidad del foco, los sismos se clasifican como poco profundos (menos de 70 km.), intermedios (de 70 a 300 km.) y profundos (de 300 km. en adelante) Ver figura 1.5

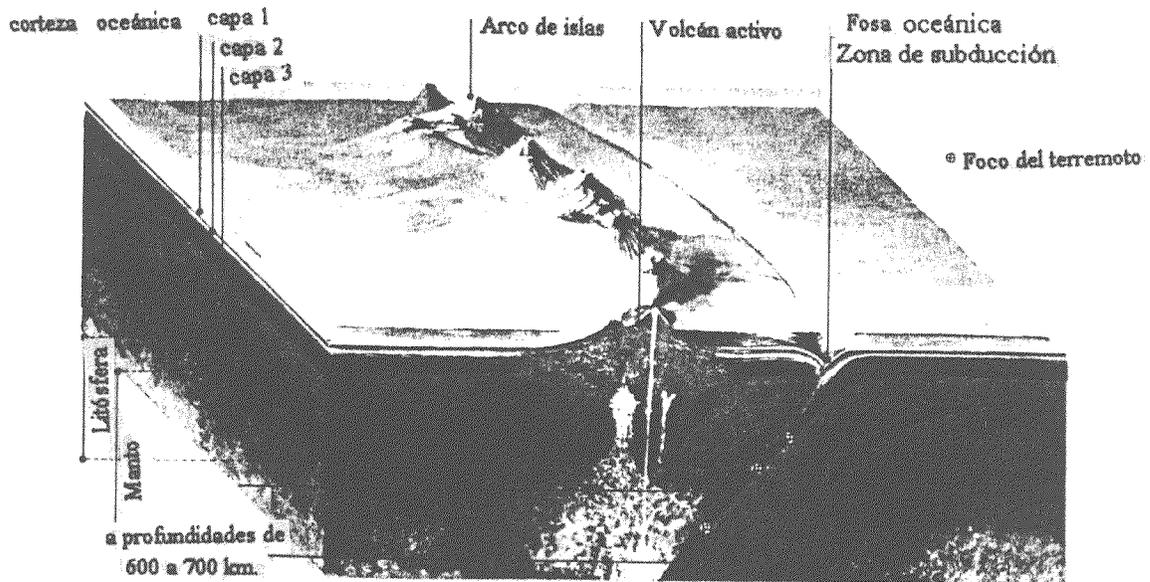


Figura 1 5

Focos en zona de subducción

1.2.3 ONDAS SISMICAS.

Existen dos clases de ondas sísmicas la onda de cuerpo y la onda de superficie. las cuales viajan en el cuerpo terrestre desde el hipocentro o foco

La onda de cuerpo se propaga de manera continua y es a la vez una onda P y una onda S La onda P, llamada onda longitudinal o compresiva, se propaga en la misma dirección que su propia vibración, viajando más rápido que la onda S La onda S, llamada onda transversal o de corte, se propaga en dirección perpendicular a su vibración

La onda de superficie se propaga en la superficie de la tierra y se manifiesta en sismos poco profundos Se clasifica en. las ondas L (ondas de Love) y las ondas R (ondas de Rayleigh) La onda L ocurre en las formaciones estratificadas y tiene una vibración en un plano paralelo a la superficie de la tierra y perpendicular a la dirección de propagación de la onda La onda R vibra en un plano perpendicular a la superficie de la tierra y presenta un movimiento elíptico

La diferencia de velocidad de las ondas mencionadas se utiliza para determinar la ubicación del epicentro y la profundidad del foco.