

## **AGRADECIMIENTO**

- **AL PERSONAL QUE LABORA EN LA SECCIÓN DE SISMOLOGÍA DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA -INSIVUMEH-, POR SU VALIOSA COLABORACIÓN EN EL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO.**
  
- **A LA DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA (DIGI), Y A LA FACULTAD DE INGENIERÍA, POR SU APOYO A LA "INVESTIGACIÓN UNIVERSITARIA".**
  
- **A LA FUNDACIÓN PARA LA SUPERACIÓN DE LA INGENIERÍA, POR EL APOYO DADO.**
  
- **AL PERSONAL ADMINISTRATIVO DEL CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS POR LA COLABORACIÓN BRINDADA.**

## INDICE

|   | Paginas |
|---|---------|
| 1. GLOSARIO.....  | i-vii   |
| 2. INTRODUCCION.....  | 1       |
| 3. CONCEPTOS BASICOS DE SISMOLOGIA, AMENAZA.<br>VULNERABILIDAD Y RIESGO SISMICO.....                | 3       |
| 3.1 Clasificación de los sismos según su<br>origen.....   | 4       |
| 3.1.1 Tectónicos.   |         |
| 3.1.2 Volcánicos.   |         |
| 3.1.3 Combinados.   |         |
| 3.2 Clasificación de los sismos según la<br>profundidad del foco.....                               | 7       |
| 3.3 Clasificación de los sismos según la<br>distancia del epicentro al punto de<br>observación..... | 7       |
| 3.4 Mecanismos de los terremotos.....   | 8       |
| 4. ANALISIS DE LA AMENAZA SISMICA.....  | 11      |
| 4.1 Evaluación probabilística de la amenaza<br>sísmica.....   | 11      |
| 4.1.1 Identificación de las fuentes<br>sísmicas.  |         |
| 4.1.2 Determinación de los modelos de<br>recurrencia y de ocurrencia<br>temporal de los sismos.     |         |
| 4.1.2.1 Modelo de recurrencia<br>de sismos.   |         |
| 4.1.2.2 Modelo de ocurrencia<br>temporal de los sismos.   |         |

## INDICE

|  | Páginas |
|--|---------|
| 4.1.3 Relaciones de atenuación.                          |         |
| 4.1.4 Evaluación de la amenaza sísmica.                  |         |
| 4.2 Evaluación determinística de la amenaza sísmica..... | 20      |
| 5. AREA DE ESTUDIO.....                                  | 21      |
| 5.1 Definición del área de influencia.....               | 21      |
| 5.2 Definición del área de estudio.....                  | 21      |
| 6. MARCO GEOLOGICO REGIONAL.....                         | 23      |
| 6.1 Provincias fisiográficas y estratigrafía.....        | 23      |
| 6.2 Panorama geotectónico de Guatemala.....              | 26      |
| 7. GEOLOGIA DEL AREA EN ESTUDIO.....                     | 27      |
| 7.1 Geomorfología.....                                   | 27      |
| 7.2 Estratigrafía.....                                   | 27      |
| 7.2.1 Rocas metamórficas.                                |         |
| 7.2.2 Rocas intrusivas paleozoicas.                      |         |
| 7.2.3 Rocas carbonáticas del Cretácico Inferior.         |         |
| 7.2.4 Rocas del Cretácico Superior.                      |         |
| 7.2.5 Rocas volcánicas Terciarias.                       |         |
| 7.2.6 Rocas volcánicas Cuaternarias.                     |         |
| 7.3 Cuadro tectónico.....                                | 29      |

## INDICE

|  | Páginas |
|--|---------|
| 8. SISMICIDAD EN EL AREA EN ESTUDIO Y EL AREA DE INFLUENCIA.....       | 32      |
| 8.1 Ubicación de las principales fuentes sísmicas.....                 | 32      |
| 9. EVALUACION DE AMENAZA SISMICA.....                                  | 34      |
| 9.1 Base de datos sísmicos.....  | 34      |
| 9.2 Programa EQRISK (Método probabilístico).....                       | 36      |
| 9.3 Método determinístico.....   | 40      |
| 10. PRESENTACION DE RESULTADOS.....                                    | 42      |
| 10.1 Método probabilístico.....  | 42      |
| 10.2 Método determinístico.....  | 43      |
| 10.3 Propuesta de la aceleración de diseño...                          | 43      |
| 11. CONCLUSIONES.....  | 44      |
| 12. RECOMENDACIONES.....   | 45      |
| 13. BIBLIOGRAFIA.....  | 46      |
| 14. ANEXOS.  |         |
| ANEXO I ILUSTRACIONES  |         |
| ANEXO II ARCHIVO DE SALIDA DEL PROGRAMA EQRISK (METODO PROBABILISTICO) |         |
| ANEXO III BASE DE DATOS SISMICOS                                       |         |

## 1. GLOSARIO.

### AMENAZA SISMICA.

(También peligro sísmico): cuantificación de las acciones sísmicas o de los fenómenos físicos asociados con un sismo que pueden producir efectos adversos al hombre y sus actividades. Parámetro que cuantifica la ocurrencia de futuros eventos sísmicos y las acciones sísmicas asociadas. Es expresada en términos de probabilidad de excedencia de determinado valor, por ejemplo la intensidad o aceleración, en un número de años dado.

### ATENUACION.

Disminución de la amplitud de las ondas sísmicas durante su transmisión a través del interior y por la superficie de la Tierra. Las leyes o curvas de atenuación describen la variación de la intensidad del movimiento del terreno en función de la magnitud y de la distancia epicentral o de la distancia a la fuente sísmica.

### ESTRATIGRAFIA.

Rama de la geología que trata sobre la formación, composición, secuencia y correlación de las rocas estratificadas como partes de la corteza terrestre.

### EVENTO MAXIMO POSIBLE.

Evento sísmico más grande que puede ocurrir en un segmento de falla o región, cuya magnitud ha sido determinada con base en las condiciones tectónicas y geológicas y en las propiedades mecánicas de la corteza, que hacen que la ocurrencia

de un evento de magnitud mayor no sea posible.

**EVENTO MAXIMO PROBABLE.** Evento sísmico más grande que, en términos razonables, se espera pueda ocurrir en determinado segmento de falla o región. También se define como el evento que en un sitio dado pueda causar la sacudida más severa del terreno y cuya probabilidad de ocurrencia está basada en información geológica, tectónica y sísmológica conocida. A veces se define el evento máximo probable como el sismo que tiene un período de retorno de 100 años o un sismo que, mediante determinación probabilística de recurrencia, puede ocurrir durante la vida útil de una obra de ingeniería.

**EVENTO SISMICO O SISMO.** Evento físico causado por la liberación repentina de energía debido a una dislocación o desplazamiento en la corteza terrestre; parte de la energía es irradiada en todas direcciones en forma de ondas elásticas u ondas sísmicas. Es percibido en la superficie como una vibración del terreno y se le denomina temblor cuando no causa daños y terremoto cuando la sacudida es violenta y el evento es destructivo, causando daños severos o víctimas.

**FALLA O FALLA GEOLOGICA.** Zona de fractura en el material de la corteza a lo largo de la cual dos bloques adyacentes han sufrido una dislocación o un desplazamiento relativo paralelo a la falla; el plano de falla puede ser vertical u oblicuo y la dislocación total puede ser de centímetros o de metros.

**GEOMORFOLOGIA.**

Rama de la fisiografía y de la geología que trata con los aspectos de la forma de la Tierra, la configuración general de su superficie y los cambios que toman lugar en la evolución en el relieve terrestre.

**INTENSIDAD.**

Medida cualitativa o cuantitativa de la severidad de la sacudida del terreno producida por un sismo en determinado lugar. La acepción generalizada de intensidad es una medida subjetiva, no instrumental, de los efectos aparentes causados por el evento; para ello se emplean escalas, por ejemplo la escala Mercalli Modificada, que asigna diferentes grados a la forma en que el temblor es sentido y según los daños a edificaciones y los cambios geológicos causados por el terremoto. Existen también medidas cuantitativas e instrumentales de la intensidad dadas por parámetros tales como la aceleración máxima, la velocidad o el desplazamiento del terreno. La intensidad es un parámetro que depende del sitio de observación y en general decrece en función de la distancia a la fuente sísmica o al epicentro.

**MAGNITUD.**

Medida cuantitativa del tamaño de un sismo en su fuente, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura en la falla. Es un parámetro independiente del sitio de observación y se determina midiendo la máxima amplitud de las ondas en un sismograma. Las medidas más usuales son la magnitud Richter **M** o magnitud local **ML**, magnitud de ondas de cuerpo (**mb**), magnitud de ondas de superficie (**Ms**) y magnitud momento (**Mw**).

**ONDAS DE SUPERFICIE  
O SUPERFICIALES.**

Ondas sísmicas que se propagan por la superficie de la Tierra; hay dos tipos de onda de superficie: ondas Love o L y ondas Rayleigh o R; la velocidad de propagación es menor a la de las ondas de cuerpo.

**ONDAS INTERNAS O DE  
CUERPO.**

Ondas sísmicas que se propagan a través del interior de la Tierra; existen dos tipos de onda de cuerpo: ondas P o longitudinales y ondas S o transversales; su velocidad de propagación es mayor que la de las ondas de superficie.

**ONDAS LOVE O L.**

Ondas sísmicas que se propagan por la superficie terrestre; producen esfuerzos de cizalla y movimiento horizontal, transversal a la dirección de propagación.

**ONDAS P.**

Ondas sísmicas internas o de cuerpo, llamadas también primarias, longitudinales o de compresión; consisten de ondas elásticas que comprimen y dilatan el medio sólido en la dirección de propagación; son las ondas sísmicas que se propagan a mayor velocidad.

**ONDAS RAYLEIGH O R.**

Ondas sísmicas que se propagan por la superficie terrestre y cuyo movimiento elíptico está contenido en un plano vertical orientado en la dirección de propagación.

- ONDAS S. Ondas sísmicas internas o de cuerpo. llamadas también secundarias, transversales o de cizalla; consisten de ondas elásticas que producen en el medio esfuerzos de cizalla y cuyo movimiento es transversal a la dirección de propagación; no se pueden propagar en un medio líquido y su velocidad de propagación es menor que la de las ondas P.
- ONDAS SISMICAS. Ondas elásticas generadas por un sismo que se propagan a partir del foco en todas direcciones. Vibración de la roca o partículas de terreno causada por un sismo.
- PERIODO DE RECURRENCIA. Intervalo entre dos sismos o eventos cíclicos de ruptura con ciertas características dadas, por ejemplo  $M > 7$ . Tiempo en años que transcurre entre dos eventos mayores consecutivos en determinada región tectónica o segmento de falla.
- PERIODO DE RECURRENCIA PROMEDIO. Tiempo promedio entre la ocurrencia de eventos sísmicos en una falla o una región tectónica dadas.
- PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA Probabilidad de que determinado valor de aceleración o intensidad del movimiento del terreno, o que ciertos efectos o consecuencias económicas producidas por un sismo, sean excedidas durante un período de exposición dado.

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| PROBABILIDAD DE OCURRENCIA. | Probabilidad de que un evento ocurra durante un intervalo de tiempo dado.  |
| PROFUNDIDAD FOCAL.          | Profundidad del foco o hipocentro del sismo bajo la superficie terrestre.  |
| RECURRENCIA.                | Ver período de recurrencia.  |
| REGION ASISMICA.            | Región de la Tierra tectónicamente estable, que está exenta de sismos.   |
| RIESGO SISMICO.             | Probabilidad de que en determinado sitio y durante un tiempo de exposición dado, las consecuencias económicas y sociales producidas por un evento sísmico excedan valores prefijados, por ejemplo víctimas, cuantía de daños, pérdidas económicas, etc. Se define también como la amenaza sísmica relativa o comparativa de un sitio a otro. |
| SISMO.                      | Ver evento sísmico.  |
| SISMO ARISTA.               | Sismos generados en zonas divergentes, donde se genera nueva corteza oceánica, o sea en zonas distensivas.   |
| SISMO INTERPLACA.           | Sismo generado en los bordes o límites entre placas litosféricas.  |
| SISMO INTRAPLACA.           | Sismo generado en zonas alejadas de los bordes o límites conocidos entre placas litosféricas o generado en fallas geológicas locales.  |

- SISMO TECTONICO. Sismo causado por procesos tectónicos y por la ruptura de la roca en segmentos de falla o en los bordes de las placas litosféricas.
- SISMO VOLCANICO. Sismo producido por actividad volcánica.
- VULNERABILIDAD. 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 que varía de 0 (ningún daño) a 10 (colapso y pérdida total).
- ZONA SISMICA. Area geográfica delimitada dentro de una región sísmica, en la cual la amenaza y el riesgo sísmico son similares y los requerimientos para el diseño sismorresistente son iguales.

## 2. INTRODUCCION.

Guatemala es un país que por su ubicación tectónica, ha sido continuamente sacudido por terremotos, destructores la mayoría. Nuestras ciudades y pueblos han sido destrozados innumerables veces; los terremotos son una parte importante de nuestra historia. Sin embargo, hemos tenido "mala memoria"; las lecciones aprendidas durante cada catástrofe son casi instantáneamente olvidadas y volvemos a construir en los mismos sitios y con los mismos métodos constructivos que han sido probados "defectuosos". Por ejemplo, basta recordar que el terremoto del 4 de febrero de 1976, causó gran cantidad de deslizamientos (Harp, 1981) sin embargo, vemos que hoy se ha vuelto a construir indiscriminadamente y sin ninguna metodología especial en las orillas de los muchos barrancos que rodean la ciudad capital.

Específicamente, nuestra ciudad, por su situación geotectónica ha sufrido el efecto de varios terremotos a lo largo de su historia, evidenciando la vulnerabilidad de sus edificaciones; un primer paso para tratar de mitigar el efecto de los terremotos, que indudablemente volverán a sacudir a la ciudad de Guatemala, es conocer la amenaza sísmica a la que puede estar expuesta y tener una aceleración de diseño para que las construcciones, desde viviendas hasta edificios, sean diseñadas asísmicamente.

El objetivo de este proyecto "Evaluación de la amenaza sísmica en el valle de la ciudad de Guatemala", es hacer un análisis probabilístico de peligro sísmico del valle de la ciudad de Guatemala. Para alcanzar este objetivo, se ha aplicado el método propuesto por Cornell (1968).

La evaluación de la amenaza sísmica y la evaluación de la vulnerabilidad de uno o varios sistemas estructurales, son los dos componentes de un análisis de riesgo sísmico. La amenaza sísmica está definida como el fenómeno físico que provoca vibraciones del terreno, que pueden inducir deslizamientos, licuefacción y producir pérdidas de vidas humanas u obras civiles; se debe analizar también, la vulnerabilidad de las obras de ingeniería.

La definición del área de influencia y del área objeto de estudio, la geología regional y local, nos dan un buen conocimiento de las causas de los sismos en una región; esto ayuda a definir las fuentes sísmicas para posteriormente,

analizar su actividad.

Para la presente investigación, en el análisis probabilístico se ha utilizado el programa EQRISK (McGuire, 1976) el cual es capaz de analizar una gran cantidad de fuentes sísmicas. En el caso de este proyecto, se identifican grandes fuentes sísmicas, algunas de las cuales se han subdividido en otras fuentes para un mejor análisis.

Para cada una de las fuentes sísmicas y tomando en cuenta los registros instrumentales, se han elaborado curvas de recurrencia y ocurrencia temporal de los sismos, a la vez, se ha hecho un análisis determinístico de la aceleración máxima del terreno. Finalmente, se hace una presentación de los resultados, se dan algunas conclusiones y recomendaciones.

### 3. CONCEPTOS BASICOS DE SISMOLOGIA, AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO SISMICO.

La evaluación de la amenaza sísmica y la de la vulnerabilidad de una obra civil, son los dos componentes de un análisis de riesgo sísmico. (Laporte, 1985).

Las fuentes sísmicas pueden generar sismos de diferentes características, tales como la magnitud, que no es más que la cantidad de energía liberada, la distancia epicentral, la profundidad focal y la frecuencia de las vibraciones; dependiendo de las características mencionadas, una región puede estar amenazada en mayor o menor grado.

Las ondas sísmicas (P, S y L) se generan durante cualquier evento sísmico, llegando a producir aceleraciones en el terreno, dichas aceleraciones afectarán a las obras civiles existentes (viviendas, edificios, presas, acueductos, puentes, etc.) cuando las obras civiles no están construidas de acuerdo a las aceleraciones, se dice que son vulnerables; asimismo, obras civiles desarrolladas en zonas donde el suelo puede fallar (deslizamientos, desprendimientos, licuefacción, etc.)

Si se consideran los dos aspectos antes mencionados en forma combinada para una zona o región en particular, se pueden elaborar mapas de zonificación del riesgo sísmico, lo cual presupone un buen conocimiento de la sismicidad de la zona estudiada y de las fuentes sísmicas que la afectan, así como el comportamiento de los suelos y rocas ante el paso de las ondas sísmicas a través de ellos, lo cual debe ser correlacionado con la calidad de las construcciones en cuanto a si son o no sismorresistentes.

Un sismo es un movimiento brusco o sucesión de vibraciones de la corteza terrestre, originado por un disturbio elástico o gravitacional de masas, que buscan su equilibrio; antiguamente se decía que estos fenómenos se debían a los cuatro elementos conocidos en esa época (tierra, agua, fuego y aire). Luego, apareció la teoría de que eran producto de los volcanes; posteriormente, surgió la teoría del tectonismo. (Melgar, 1986). En base a estas dos últimas teorías de sismos, estos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) según su origen,
- b) según la profundidad del foco.

- c) según la distancia del epicentro al punto de observación.

### 3.1 Clasificación de los sismos según su origen.

#### 3.1.1 Tectónicos.

Se caracterizan por deformaciones violentas de la corteza terrestre; generalmente, a lo largo de fallas activas, lo mismo que por alabeos de la superficie terrestre. Se presentan desde grados inapreciables para las personas, hasta grandes catástrofes, propagándose a grandes distancias tanto sobre la superficie, como en el interior de la tierra.

La teoría de la tectónica de placas, sugiere que las características esenciales de los sismos superficiales pueden ser convenientemente tipificadas, clasificándolas de acuerdo a su ambiente en la placa tectónica.

Las tres categorías usadas son: interplaca, intraplaca y los tipo arista.

La primera categoría se aplica a los sismos principales, a lo largo de ejes de fosas y también, incluye aquellos que transforman mayormente las fallas. Estos sismos son atribuidos a la falla o dislocación en gran escala del límite de una placa, a veces registran magnitudes mayores de ocho (08) grados. Son del tipo dislocación-rumbo, si ocurren en una falla transcurrente y del tipo falla-buzamiento (usualmente del tipo de bajo ángulo de empuje) en el caso de sismos de fosas. En ambos casos, el descenso en el esfuerzo está estimado en cerca de 30 bar, este valor es mucho más bajo que los determinados para sismos intraplacas y puede indicar, relativamente baja resistencia en el límite de la placa. Este tipo de sismo tiende a repetirse, frecuentemente, con un período de retorno típico de unos cuantos centenares de años. Las secuencias de dichos sismos parecen ser relativamente regulares, tanto que podemos reconocer tales características como periódicas separaciones sísmicas y la migración de epicentros a lo largo de una zona sísmica. En Guatemala, estos sismos son generados a través de las fallas principales y la zona de subducción de la fosa de Mesoamérica. (Melgar, 1986).

El tipo intraplaca, el cual incluye la mayoría de sismos que ocurren dentro de una placa, contrasta con el tipo interplaca en muchos aspectos. Los sismos de este tipo pueden registrar magnitudes moderadas cerca de 7 grados, pero, no es probable que excedan la magnitud de 8. El descenso de esfuerzo típico de estos terremotos, es, aproximadamente, 100 bar el cual parece alto comparado con los descensos de esfuerzo en las sacudidas interplacas. Esto parece indicar que los esfuerzos de fricción o la resistencia de las rocas en una placa, son considerablemente mayores que los de los límites de placa. La acumulación y liberación de esfuerzos dentro de la placa, lo cual produce numerosas fracturas de varios tamaños, no están directamente relacionados con los movimientos de la placa. Consecuentemente, son secuencias de los eventos interplaca. Estos sismos en Guatemala, son provocados por las fallas secundarias a través de la activación de las fallas principales (Melgar, 1986).

La tabla No. 1, compara las características típicas de estos dos tipos de sismos y también de las características conocidas de los eventos tipo arista. Los sismos tipo arista, ocurren en zonas divergentes donde se genera nueva corteza oceánica o sea, en zonas distensivas.

### 3.1.2 Volcánicos.

Como su nombre lo indica, se deben a la actividad volcánica desde el ascenso del magma, así como su emplazamiento dentro de la corteza. Se caracterizan por la extrema violencia en su localidad y por una rápida disminución del movimiento del suelo al aumentar la distancia. Debido a que su foco es superficial, afecta a regiones poco extensas.

Se sabe que los sismos y los volcanes tienen un origen similar, debido a que ambos se ubican en las regiones de debilidad de la corteza terrestre. Sin embargo, los sismos casi nunca engendran una erupción.

El 90% de los sismos fuertes son de origen tectónico y el 10% restante de los sismos son volcánicos.

TABLA No. 1

CLASIFICACION DE LOS SISMOS SUPERFICIALES DE ACUERDO A  
SU AMBIENTE EN LA PLACA TECTONICA.  
(MELGAR, 1986)

| LUGAR DE OCURRENCIA  | ZONA DE SUBDUCCION, FALLA TRANS-CURRENTE MAYOR (INTER-PLACA) | PLACA (CUERPO) (INTRAPLACA) | CORDILLERA OCEANICA (ARISTA) |
|----------------------|--|-----------------------------|------------------------------|
| POSIBLE MAGNITUD (M) | = 8.5  | = 7.5                       | PEQUEÑA EN GENERAL           |
| DESCENSO DE ESFUERZO | = 30 BAR   | = 10 BAR                    | ?                            |
| REPETICION           | = 100 AÑOS   | 1000-10000 AÑOS             | ?                            |
| OBSERVACIONES        | REGULARIDAD (PERIODICIDAD SISMICA RECONOCIBLE)               | COMPLEJO                    |                              |

### 3.1.3 Combinados.

En Guatemala, la cadena de volcanes activos es un área de peligro sísmico, debido a que los sismos son más frecuentes aquí, porque las gruesas capas de ceniza volcánica amplifican los movimientos de tierra y la población se encuentra concentrada en los alrededores. Eventos superficiales con magnitudes arriba de 6.5 ocurren desde hace 30 años en algunos sitios. De un total de 23 sismos, 18 ó 78% ocurren a lo largo de la cadena volcánica activa y todos, excepto uno de estos, ocasionó graves daños locales. Tales terremotos altamente dañinos se pueden esperar en un promedio de cada cuatro años en algún lugar de Centroamérica (Melgar, 1986).

La región entre la costa del Pacífico, y la cadena de volcanes activos es una región de considerable peligro, porque grandes zonas sísmicas subducidas, aunque con menos frecuencia que en la cadena volcánica, interactúan con gruesos aluviones costeros para producir daños de grandes dimensiones. Terremotos con magnitud de 7.5 a 8, ocurren con una frecuencia de cada 70 a 200 años en la mayoría de sitios a lo largo de la costa. (Melgar, 1986).

### 3.2 Clasificación de los sismos según la profundidad del foco.

Según la profundidad de su foco, los sismos se pueden clasificar en:

- superficiales (someros): si la profundidad focal está entre 0 y 70 Km. Un gran porcentaje es de origen volcánico.
- intermedios (medianos): si está entre 70 y 300 Km,
- profundos: si están a más de 300 Km.

### 3.3 Clasificación de los sismos según la distancia del epicentro al punto de observación.

Existen dos clasificaciones según la distancia en-

tre el foco del sismo y el punto de observación del fenómeno:

- clasificación 1:
  - locales: si la distancia es menor de 1000 Km,
  - telesismos: si la distancia es mayor de 1000 Km,
- clasificación 2:
  - local: distancia menor a 100 Km,
  - vecino: distancia entre 100 y 600 Km,
  - cercanos: distancia entre 600 y 1,200 Km,
  - distantes: distancia entre 1,200 y 6,000 Km,
  - lejanos: distancia entre 6,000 y 12,000 Km,
  - remotos: distancia mayor de 12.000 Km.

#### 3.4 Mecanismos de los terremotos.

Al tratar de explicar el mecanismo de los sismos o terremotos, tenemos que referirnos a la teoría de las placas tectónicas y a la teoría del rebote elástico.

La teoría de las placas tectónicas, asume que toda la corteza terrestre constituía una sola masa o supercontinente en los orígenes del planeta y que desde hace 200 millones de años, se ha fragmentado gradualmente, hasta formar cerca de veinte placas tectónicas que se mueven flotando sobre el manto terrestre, de modo que una placa constituye una inmensa porción de corteza que flota sobre el manto terrestre y cuyo continuo movimiento ocasiona colisiones y distensiones que dan lugar a un reequilibrio de fuerzas que originan los sismos y otros fenómenos geológicos.

Por efecto de este movimiento de placas, se generan conmociones geológicas que dan lugar a las fallas: rupturas a lo largo de las cuales, las paredes opuestas de

corteza terrestre se han movido una con relación a la otra.

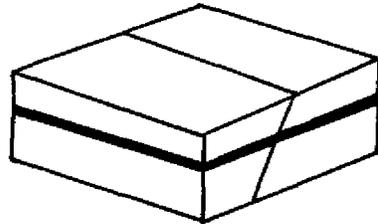
En la teoría del rebote elástico, hay dos fuerzas opuestas a una parte y otra de la falla; las tensiones actuando constantemente, producen una deformación de los terrenos debido a una cierta elasticidad de las rocas. La resistencia a la fricción a lo largo del plano de falla, no permite el deslizamiento constante de los compartimientos hasta que las fuerzas acumuladas en la deformación sobrepasen esta resistencia; entonces, hay una liberación brusca de la energía; ruptura según la falla y deslizamiento rápido. La energía liberada se dispersa en forma de ondas sísmicas (vibración de las partículas), que provocan desastres y se pueden registrar con aparatos apropiados.

La corteza está sujeta a esfuerzos asociados con deformaciones de corte. Cuando se sobrepasa la resistencia en una falla, la corteza tiende a recuperar su configuración no deformada y este rebote da origen al sismo. El fenómeno implica un desprendimiento; la resistencia estática por fricción excede a la que corresponde en condiciones dinámicas; por lo tanto, los sismos están asociados con una disminución de esfuerzos. Debido a heterogeneidades en los esfuerzos y en la resistencia, el movimiento debe comenzar en un punto y propagarse. Esto tiene lugar con una velocidad comparable a la de transmisión de esfuerzos de corte. Cuando la resistencia estática por fricción no excede del valor dinámico, en vez de un sismo se tendrá un movimiento paulatino del terreno.

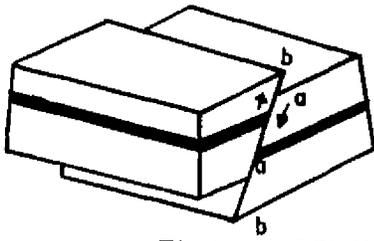
Las fallas típicamente se mueven en una dirección longitudinal, transversal o una combinación de ambas direcciones. Las fallas, en sí mismas, no ofrecen nunca evidencia directa sobre cual es el bloque en que se movieron realmente. La figura No. 3.1 ilustra algunas de las varias clases de movimientos relativos que pueden tener lugar a lo largo de una falla.

Se usa el término desplazamiento, para indicar el movimiento relativo de puntos anteriormente adyacentes sobre lados opuestos de la falla y se mide sobre la superficie de la falla. El desplazamiento neto (ab en la figura 3.1) es el movimiento total; es la distancia, medida sobre la superficie de la falla, entre dos puntos anteriormente adyacentes situados sobre paredes opuestas de la falla. Se define en términos de la distancia y del ángulo que forma con alguna

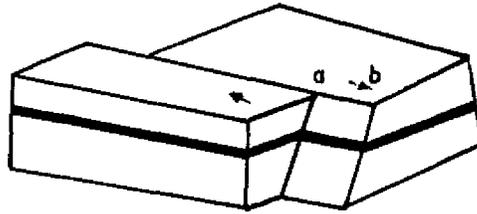
línea en el plano de falla, tal como una línea horizontal, o una línea paralela a la dirección de la inclinación. (Melgar, 1986).



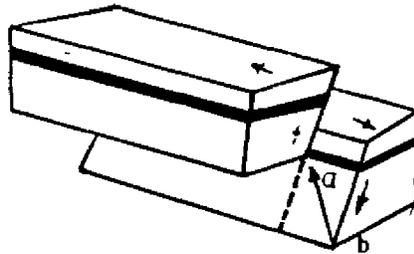
FALLA INACTIVA.



FALLA ACTIVA.  
(movimiento transversal.)



FALLA ACTIVA  
(movimiento longitudinal.)



FALLA ACTIVA  
(movimiento combinado)

TOMADO DE MELGAR, 1986

|  |      |
|--|------|
| EVALUACION DE LA AMENAZA SISMICA PARA LA CIUDAD DE GUATEMALA.      | FIG. |
| MOVIMIENTOS RELATIVOS QUE PUEDEN OCURRIR A LO LARGO DE UNA FALLA.- | 3.1  |