

**COMPARACIÓN DE RIESGO SÍSMICO QUE PRESENTAN
EDIFICACIONES CONSTRUIDAS PRE Y POST TERREMOTO
DE 1976 EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

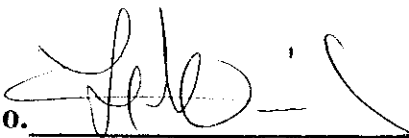
**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES**

**COMPARACIÓN DE RIESGO SÍSMICO QUE PRESENTAN
EDIFICACIONES CONSTRUIDAS PRE Y POST TERREMOTO
DE 1976 EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

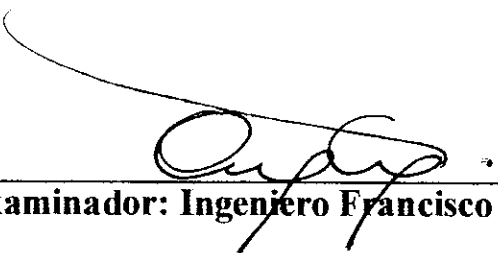
**TRABAJO DE TESIS PRESENTADO POR
JORGE ALFREDO GAITÁN BARRIOS
PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIATURA EN INGENIERIA CIVIL**

GUATEMALA 2003

Vo Bo. 

Asesor y Examinador: Ingeniero Luis Arnoldo Córdova Mejía


Examinador: Ingeniero Franklin Matzdorf


Examinador: Ingeniero Francisco Ruiz Cruz

Fecha de Aprobación: 9 de mayo del 2003

INDICE

Lista de cuadros.	iii
Lista de figuras y gráficos.	iv
I. Introducción.	1
A. Objetivos.	4
B. Hipótesis.	4
II. Amenaza Sísmica en la ciudad de Guatemala.	6
A. Fenómenos causales.	6
B. Marco tectónico regional.	7
C. Tipos de fallas.	9
D. Graben de la ciudad de Guatemala.	11
E. Desplazamiento de falla.	12
F. Movimiento del suelo provocado por la ondas sísmicas.	13
G. Estudios de Amenaza Sísmica.	17
H. Macrozonificación sísmica de la República de Guatemala.	19
III. Método de Evaluación Visual Rápida.	20
A. Descripción del método.	21
B. Características que debe llenar el inspector de vulnerabilidad.	23
C. Como llenar el formulario y obtener la Calificación Final C.	24
IV. Método de Evaluación de Daños Pre-sismo.	41
A. Descripción y procedimiento para la evaluación.	41
B. Características que deben de llenar los inspectores de daños.	42
C. Cómo llenar el formulario y registrar los daños en la estructura.	43
D. Condiciones a evaluar.	44
E. Clasificación de daños sísmicos según su magnitud (Grado de Daño).	50
V. Criterios y elaboración del Dictamen de Riesgo Sísmico.	52
A. Categoría de priorización de las edificaciones.	52
B. Código para nombrar a la edificación (número de expediente).	54
C. Criterio para determinar si la amenaza geotécnica afecta en el Riesgo Sísmico de la estructura.	55
D. Otros factores que incrementan el Riesgo Sísmico de la estructura	56
E. Integración del Grado de Daño al Dictamen de Riesgo Sísmico.	57
F. Escala de Riesgo Sísmico de la estructura y recomendaciones.	58

VI. Comparación y resultados de evaluaciones realizadas.	60
A. Resultados obtenidos para edificaciones construidas antes del terremoto de 1976.	63
B. Resultados obtenidos para edificaciones construidas después del terremoto de 1976.	65
C. Comparación de los resultados.	67
VII. Discusión y conclusiones obtenidas.	68
VIII. Bibliografía.	72
IX. Anexo.	74
Formulario de Evaluación Visual Rápida de Riesgo Sísmico.	75
Formulario de Evaluación Rápida de Daños Sísmicos.	76
Formato de Dictámen de Riesgo Sísmico.	77
Formato de Dictamen de Daños Pre-Sismo.	78
Ejemplo de Dictamen de Riesgo Sísmico para edificación construida antes del terremoto.	79
Ejemplo de Dictamen de Daños Pre-Sismo para edificación construida antes del terremoto.	80
Ejemplo de Dictamen de Riesgo Sísmico para edificación construida después del terremoto.	82
Ejemplo de Dictamen de Daños Pre-Sismo para edificación construida después del terremoto.	83

LISTA DE CUADROS

III-1 y III-2 Calificación Básica de Amenaza Estructural según el tipo de estructura.	21
III-3 Categorías de ocupación y carga de ocupación.	26
III-4 Condiciones a inspeccionar.	37
III-5 Factores modificadores según tipo de edificio.	39
IV-1 Grado de Daño según su magnitud.	43
IV-2 Clasificación y descripción del Grado de Daño.	50
V-1 Categorías de priorización para las edificaciones.	53
V-2 y V-3 Códigos para la identificación de las edificaciones.	54
V-4 Escala de Riesgo Sísmico.	58
V-5 Escala de recomendación.	58
VI-1 Evaluaciones de edificaciones construidas antes del terremoto.	61
VI-2 Evaluaciones de edificaciones construidas después del terremoto.	62
VI-3 Grado de Daño de edificaciones construidas antes del terremoto.	63
VI-4 Riesgo Sísmico de edificaciones construidas antes del terremoto.	64
VI-5 Grado de Daño de edificaciones construidas después del terremoto.	65
VI-6 Riesgo Sísmico de edificaciones construidas después del terremoto.	66

LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura

1. Situación tectónica del área centroamericana y del Caribe.	8
2. Corte del área de subducción y la de transcurrencia en la parte central del país.	9
3. Tipos de fallas más comunes.	10
4. Mapa de fallas geológicas en la República de Guatemala.	13
5. Mapa de fuentes sismogénicas.	14
6. Curvas de Amenaza Sísmica.	18
7. Mapa de Macrozonificación Sísmica.	19

Gráficos

VI-1 Categoría de seguridad para edificaciones construidas antes del terremoto.	63
VI-2 Riesgo Sísmico de edificaciones construidas antes del terremoto.	64
VI-3 Categoría de seguridad para edificaciones construidas después del terremoto.	65
VI-4 Riesgo Sísmico de edificaciones construidas después del terremoto.	66

I. INTRODUCCIÓN

El terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976, con una magnitud de superficie de onda de 7.5, fue generado por un movimiento de corrimiento lateral izquierdo de la falla de Motagua y fue percibido sobre un área de al menos 100,000 km². El terremoto provocó la muerte de al menos 22,700 personas y dejó heridas a más de 76,000 personas. El estudio preliminar de las pérdidas materiales fue de \$1.1 billones, que en aquel entonces representó el 18% del producto nacional bruto.

La Ciudad de Guatemala es el centro urbano más grande de nuestro país y es donde se encuentra concentrada la mayor parte de la economía, industria e infraestructura del país. También sabemos que la ciudad se encuentra alojada en un área altamente sísmica y que se encuentra rodeada de fallas geológicas. Según un reporte realizado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el departamento de Guatemala fue el segundo más afectado en cuanto a pérdida de vidas humanas y heridos. Por esto, y por la ausencia de un código oficial de construcción sismorresistente la ciudad posee un Riesgo Sísmico que se debe considerar. Por lo tanto, es de vital importancia establecer el Riesgo Sísmico, empezando por las edificaciones de más importancia y en donde se puede dar un gran número de pérdidas humanas y materiales a la hora de un terremoto.

En el mismo año del terremoto surgieron las primeras especificaciones técnicas por parte de la Dirección de Obras Públicas. Diez años después se formó una comisión especial formada por el Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas y por cuatro profesionales con apoyo logístico del INSIVUMEH. Esta comisión creó un conjunto de normas a las cuales se les quiso dar un carácter legal, pero a pesar de los esfuerzos no se pudo lograr.

En 1996, la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica decidió darle a las normas un consenso técnico y presentó las primeras Normas Estructurales de Diseño y Construcción recomendadas para la República de Guatemala.

A finales del año 2000 se creó una comisión encargada de la evaluación de Riesgo Sísmico en edificaciones estatales con el apoyo de la Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia. En el año 2002, profesionales de AGIES junto con apoyo de la Comisión de Riesgo Sísmico lograron presentar otro grupo de normas, entre ellas la norma NR-6 con el nombre de Disminución de Riesgos y Rehabilitación, la cual puede ser una herramienta muy útil para evaluar y luego mitigar el Riesgo Sísmico en edificaciones.

A pesar de los esfuerzos realizados, todavía no se ha logrado crear un código oficial y sólo hay normas de construcción recomendadas. Por lo tanto, aún no se ha establecido si los criterios de construcción han mejorado después del terremoto o si éste creó conciencia para que se construya de manera sismorresistente en nuestro país. En el siguiente trabajo se pretende establecer si hubo un cambio significativo o si no lo hubo en los criterios de construcción después del terremoto de 1976. Esto se lleva a cabo mediante la comparación de Riesgo Sísmico en edificaciones construidas en la Ciudad de Guatemala antes y después del terremoto con distintos tipos de sistemas constructivos.

Para establecer el Riesgo Sísmico en las edificaciones, se debe tomar en cuenta la Amenaza Sísmica a la que se encuentra sometida la Ciudad de Guatemala. Esto se lleva a cabo utilizando el mapa de macrozonificación sísmica que se encuentra en las Normas Recomendadas de AGIES. Cada sistema constructivo tiene una Calificación Básica de Amenaza que varía según las macrozonas sísmicas en la República de Guatemala. Realizando la evaluación de la vulnerabilidad e integrando la amenaza a la que están sometidas las edificaciones, obtenemos el Riesgo Sísmico que corren las mismas.

También se realiza una evaluación del daño existente en la edificación y de las condiciones del lugar en donde se encuentra para determinar si el daño o alguna amenaza externa o del lugar aumenta o incrementa el Riesgo Sísmico. Para ambas evaluaciones se presentan guías con los respectivos formularios que indican cómo deben realizarse las evaluaciones y cómo deben llenarse los formularios. También se presenta una guía que indica como debe realizarse el Dictamen de Riesgo y el de Daño Pre-sismo y de los

criterios que se tienen que utilizar para poder interpretar la información obtenida de la evaluación.

Por último, se presenta la información en cuadros de las evaluaciones realizadas en edificaciones construidas antes y después del terremoto. Con esta información se lleva a cabo una comparación y se analizan los resultados para obtener las conclusiones y determinar si en efecto hubo o no, un cambio en los criterios de diseño y construcción sismorresistente.

Para la mejor comprensión de la Metodología de la Evaluación de Riesgo Sísmico, se presentan algunos conceptos que son de utilidad y que se deben tener presentes.

- Es muy fácil confundir el término edificación con estructura. El término edificación puede abarcar edificios, casas, fábricas, templos y cualquier otro tipo de lugar en donde las personas habiten o trabajen. Cada edificación tiene su propia estructura, este término se refiere al sistema estructural que tiene una edificación.
- El riesgo se compila de los datos de la evaluación de la amenaza o peligro; análisis de vulnerabilidad y del inventario o cuantificación de los elementos en riesgo. Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, o sea el total de pérdidas esperadas en un área dada por un evento en particular.
- La frecuencia con que se presenta y la intensidad de la amenaza sísmica varía de lugar en lugar. Para mostrar esta variación puede ser útil usar la cartografía de las amenazas.
- Las amenazas tienden a ser incontrolables, gran parte del trabajo de mitigación se centra en reducir la vulnerabilidad sísmica estructural en la edificación.
- El análisis de vulnerabilidad es un proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición y la predisposición a la pérdida de un elemento o grupo de elementos ante

una amenaza específica, contribuyendo al conocimiento del riesgo a través de interacciones de dichos ambientes con el ambiente peligroso.

A. OBJETIVOS

1. Generales.

- Presentar guías de evaluación para determinar el Riesgo Sísmico presente en las edificaciones.
- Llevar a cabo una comparación de Riesgo Sísmico entre edificaciones construidas pre y post terremoto de 1976.

2. Específicos.

- Diagnosticar el Riesgo Sísmico en edificaciones mediante la integración de la amenaza sísmica del lugar y mediante la evaluación de vulnerabilidad sísmica estructural.
- Registrar el daño sísmico que hayan sufrido las edificaciones en eventos anteriores y determinar si este incrementa el Riesgo Sísmico en la misma.
- Determinar por medio de inspección visual si existe otro tipo de amenaza y especificar cual es para saber si esta incrementa el Riesgo Sísmico en la edificación.
- Llegar a determinar si hubo un cambio o mejora en los criterios de diseño sismorresistente después del terremoto y saber que tipo de cambio fue para poder apoyarlo y volverlo una normativa oficial.

B. HIPÓTESIS

El terremoto del 4 de febrero de 1976 fue un evento desastroso para la sociedad guatemalteca creando una gran cantidad de pérdidas humanas y materiales. Por la ausencia de un código oficial de diseño sismorresistente, se desconoce del estado actual de edificaciones importantes y si éstas son capaces de resistir un evento sísmico considerable. Por esto se ha hecho necesario determinar el Riesgo Sísmico que corren dichas edificaciones y saber que tipo de cambio se ha dado en el diseño sismorresistente después del terremoto. Por medio de la comparación de Riesgo Sísmico entre

edificaciones construidas antes y después del terremoto se pretende comprobar que en efecto han habido mejoras en el diseño sismorresistente y también se pretende identificar cómo mejoró el diseño para poder crear normas oficiales de construcción sismorresistente.

II. AMENAZA SÍSMICA EN GUATEMALA

Los terremotos son una de las amenazas naturales más destructivas. Pueden ocurrir en cualquier período del año, en el día o en la noche, produciendo un impacto repentino y con poco aviso. Pueden destruir edificios en segundos, causando la muerte o lesión de sus habitantes. Los terremotos no sólo destruyen ciudades enteras, sino que suelen desestabilizar al gobierno, la economía y la estructura social de un país.

A. FENÓMENOS CAUSALES

La corteza de la tierra es una capa rocosa de diverso grosor cuya profundidad varía desde 10 kilómetros debajo de los océanos hasta 65 kilómetros debajo de los continentes. Esta costra no está formada de una sola pieza sino que consiste en porciones llamadas placas. El tamaño de estas placas varía desde unos pocos cientos de kilómetros hasta muchos miles de kilómetros. La teoría de las placas tectónicas sostiene que estas placas se desplazan sobre el manto más móvil, y son impulsadas por algún mecanismo todavía no confirmado; tal vez corrientes de conducción térmica. Cuando las placas hacen contacto entre ellas, las presiones emergen a la corteza. Estas presiones se pueden clasificar según el tipo de movimiento a lo largo de los bordes de las placas: alejándose unas de otras, deslizándose relativamente de costado unas con otras, y empujándose unas contra otras. Todos estos movimientos se asocian a los terremotos.

Las áreas de presión en los bordes de las placas que descargan la energía acumulada mediante roce o ruptura se conocen como fallas. La teoría del rebote elástico dice que como la corteza está continuamente siendo presionada por el movimiento de las placas tectónicas, finalmente alcanza un punto de presión soportable máxima, entonces ocurre una ruptura a lo largo de la falla y la roca rebota bajo su propia presión elástica hasta que se alivia la tensión. Usualmente la roca rebota en ambos lados de la falla en direcciones opuestas.

El punto de ruptura se llama foco y puede localizarse cerca de la superficie o muy profundo bajo la superficie. El punto en la superficie directamente sobre el foco se determina como el epicentro del terremoto. La ruptura de la falla genera vibraciones llamadas ondas sísmicas (del griego seismo que significa golpe o terremoto), las cuales se irradian desde el foco en todas direcciones.

La energía generada por un terremoto no siempre se descarga violentamente sino que en algunos casos es muy pequeña y gradual. Aunque algunos terremotos están asociados con actividad volcánica, los terremotos más destructores parecen estar vinculados con una ruptura repentina de la corteza terrestre. La variación de la intensidad de los terremotos puede estar relacionada con la cantidad de energía descargada en el foco, la distancia desde el foco y su profundidad y las propiedades estructurales de la roca o terreno en la superficie (Int. a las Amenazas, 1994).

B. MARCO TECTÓNICO REGIONAL

El marco tectónico regional muestra que el territorio nacional está repartido en tres placas: Norteamericana (NA), Caribe (CA) y Cocos (CO). El movimiento relativo entre ellas, su composición (oceánica y continental) y su edad geológica producen dos tipos de límites o zonas de contacto: el primero tipo transcurrente entre las placas de NA-CA, cuya expresión en superficie son las grandes fallas de Chixoy-Polochic, Motagua-San Agustín y Jocotán-Chamalecon. El segundo de tipo convergente entre las placas de CO-CA, en este proceso la placa de CO se incrusta por debajo de la placa del CA, fenómeno conocido como subducción. Los rasgos topográficos asociados a este proceso son la fosa y el arco volcánico mesoamericano. La relación entre los terremotos y los distintos sistemas de fallas o fuentes sísmicas en Centro América ha sido estudiada por varios autores, en resumen: durante el pasado siglo han ocurrido unos 70 terremotos en Centro América de estos, 40 asociados a fallamientos superficiales cercanos al arco volcánico, 20 en la zona de subducción, o en los grandes fallamientos de Chixoy-Polochic y Motagua. (Diag. de Prev de Desastres Nat. en Guatemala, 1976).

Los estudios más recientes sobre la sismo-tectónica han tratado los siguientes temas: la geometría y continuidad de la zona de subducción, la velocidad de convergencia y la triple de placas CA-CO-NA. La relación entre los terremotos y los distintos sistemas de fallas o fuentes sísmicas en Centro América ha sido estudiada por varios autores, en resumen: durante el pasado siglo han ocurrido unos 70 terremotos en Centro América de estos, 40 asociados a fallamientos superficiales cercanos al arco volcánico, 20 en la zona de subducción, o en los grandes fallamientos de Chixoy-Polochic y Motagua.

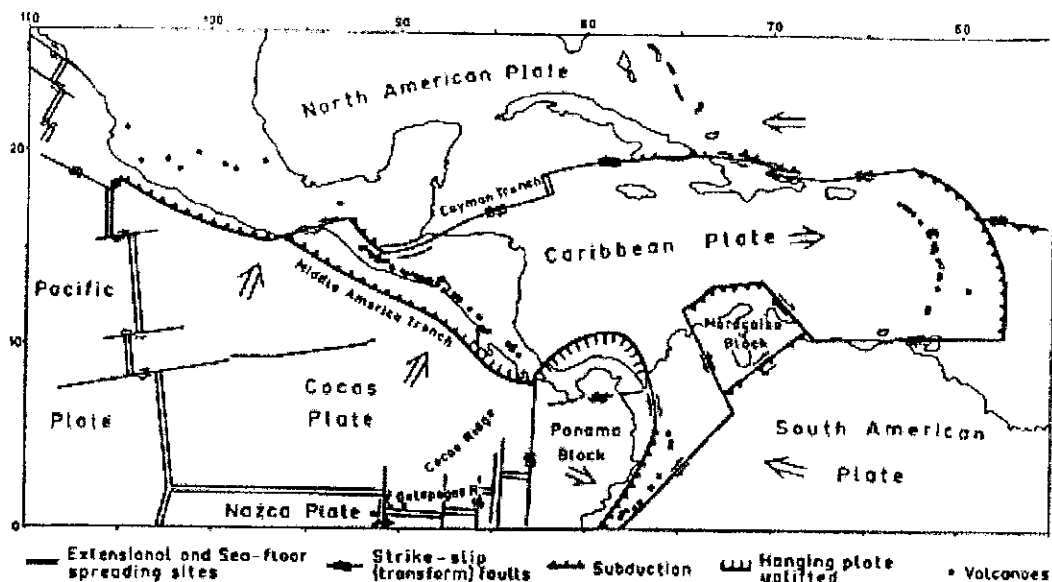


Figura 1. Situación Tectónica del Área Centroamericana y del Caribe.

El resumen de los daños es 17,000 muertos por sismos ocurridos en fallamientos superficiales cercanos al arco volcánicos, 2,000 muertos por sismos en la zona de subducción y 23,000 (el gran terremoto de 1976) en las grandes fallas de Chixoy, Polochic y Motagua.

Muchos expertos concuerdan en que la principal fuente de amenaza sísmica en Centro América son las fallas superficiales cercanas al arco volcánico y a la mayoría de ciudades. Los terremotos producidos por este tipo de fallas son de magnitud moderada ($4.0 < M < 6.5$), muy superficiales, ($h < 15.0$ km.), y ocurren con mucha frecuencia a lo largo del arco volcánico centroamericano, en promedio uno (1) cada 2.5 años (Diag. de Prev de Desastres Nat. en Guatemala, 1976).

C. TIPOS DE FALLAS

La clasificación de fallas es derecha y hacia adelante y depende sólo de la geometría y la dirección del deslizamiento relativo.

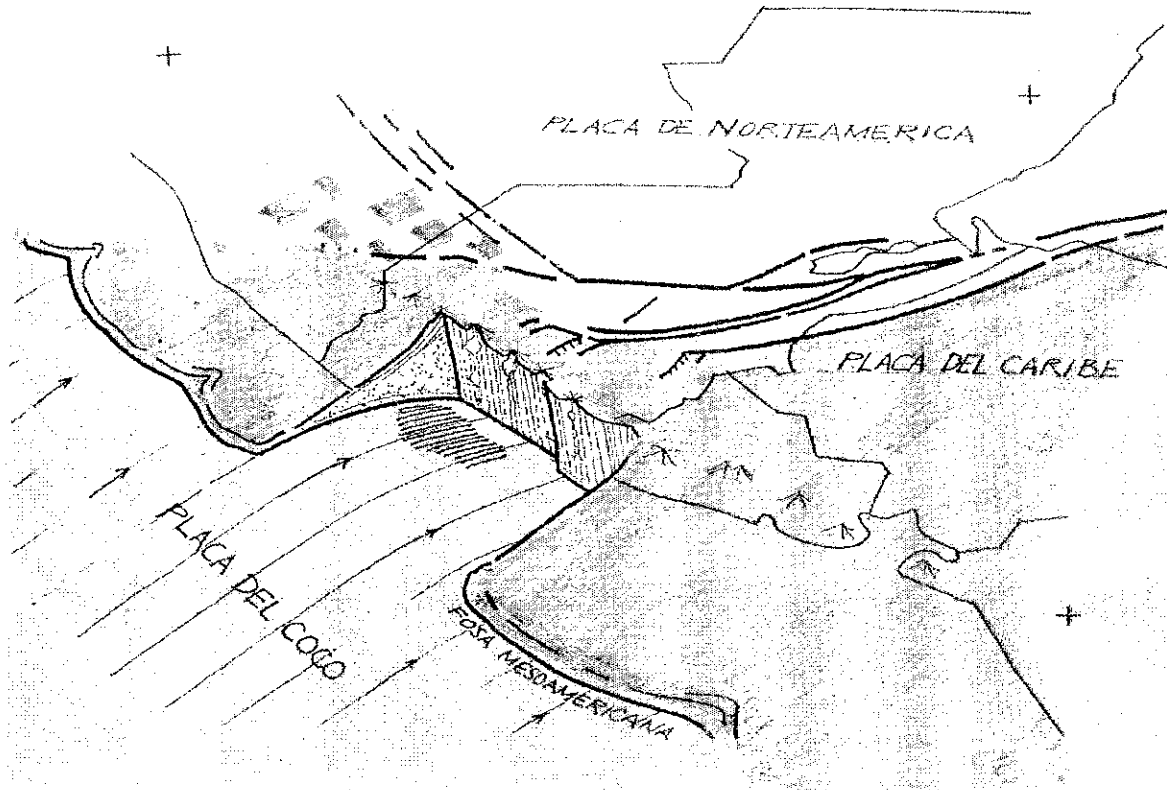


Figura 2. Corte que muestra el área de subducción y la de transcurrencia en la parte central del país.

El busamiento de la falla es el ángulo que forma la superficie de la falla con el plano horizontal y el rumbo es la dirección de la línea de falla expuesta en la superficie del terreno relativa al norte.

<<Una falla de rumbo llamada también “falla transcurrente” involucra desplazamiento lateral de la roca paralela a la superficie de la falla>>(Sanders, 1981). Si nos encontramos de un lado de la falla y el lado opuesto tiene un movimiento de izquierda a derecha, la falla es de corrimiento lateral derecho. De la misma manera, se puede distinguir una falla de corrimiento lateral izquierdo.

Una falla de busamiento es aquella en la que el movimiento es mayormente paralelo al ángulo de busamiento de la falla y que además tiene componentes verticales de desplazamiento. Una falla normal es aquella en la que el bloque arriba de la superficie de falla inclinada tiene un movimiento relativo hacia abajo con respecto a la capa subyacente. Las fallas con deslizamiento casi vertical también entran dentro de esta categoría.

Una falla inversa es aquella en la que la capa de arriba de la superficie inclinada de falla tiene un movimiento relativo hacia arriba con respecto al bloque que se encuentra debajo de la superficie de falla. Las fallas de empuje generalmente se incluyen en esta categoría pero generalmente están restringidas a casos cuando el ángulo de busamiento es pequeño.

Las amenazas geológicas generalmente varían según el tipo de falla. Los efectos principales se muestran en la siguiente figura. A lo largo de una falla de corrimiento o deslizamiento lateral, la zona alterada o fallada es estrecha. Según Sanders (1981), en el caso de fallas normales o de empuje de graben y deslizamiento a lo largo de la escarpa de la falla, puede extenderse el movimiento sobre un ancho considerable.

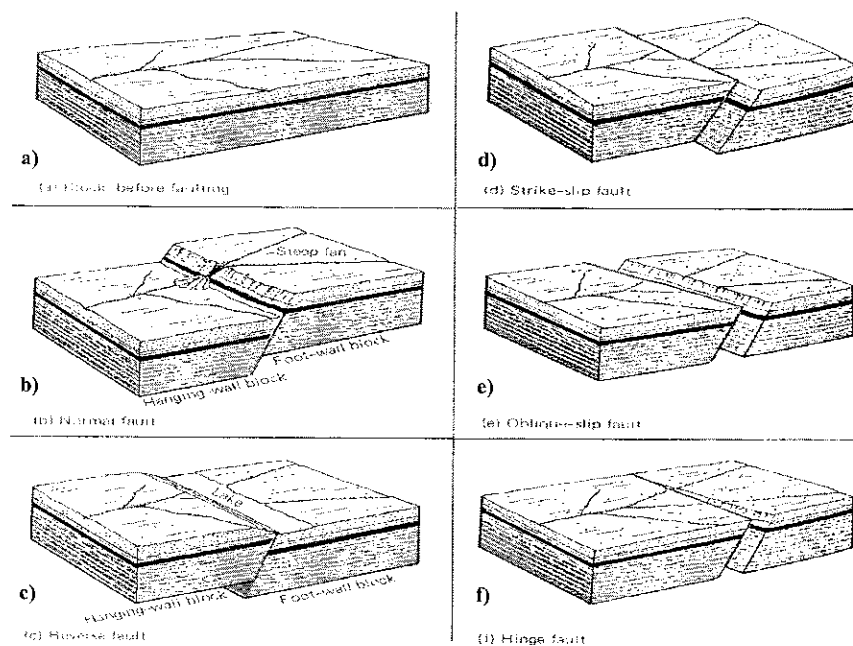


Figura 3. Tipos de fallas más comunes

- a) Bloque antes de fallado b) Falla normal c) Falla Inversa d) Falla Rumbo o de corrimiento lateral
 e) Falla de corrimiento oblicuo f) Falla de cuña.

D. GRABEN DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

<<Generalmente se define a un Graben como un canal largo y estrecho formado por fuerzas tensionales en la corteza, causando que el bloque fallado se precipite o se hunda entre fallas paralelas >>(Architects & Earthquakes, 1975).

El Graben de la Ciudad de Guatemala, con rumbo N-S, está limitado al este por la falla normal de Santa Catarina y al oeste por la zona de fallas normales de Mixco. Las serranías que limitan el Graben al este y al oeste están formadas principalmente por rocas volcánicas de edad Terciario Tardía, mientras que la parte central del Graben tiene un relleno de varios estratos de rocas piroclásticas pumíticas, separados por paleosuelos y sedimentos lacustres de edad Plioceno-Pleistoceno.

El espesor de este relleno, en las partes que se ha logrado medir, es superior a 100 metros. Hacia el norte el Graben está limitado por rocas más antiguas, calizas y de granito del cretácico y rocas metamórficas. En la porción sur del Graben, es atravesado por la falla de Jalpatagua, al sur de la cual se encuentra la caldera de Amatitlán, en parte ocupada por el lago del mismo nombre. Inmediatamente, al sur de la caldera se encuentra el complejo volcánico de Pacaya formado por varios domos, pequeñas calderas catéricas y un cono en actividad continua desde marzo de 1961. En lo relativo al riesgo geológico, posiblemente el principal es la sismicidad de la zona. En el siglo pasado, la ciudad ha sido afectada por dos terremotos uno en diciembre de 1917 y otro, el 4 de febrero de 1976.

Este último se originó en la zona de fallas del Motagua, al norte de la ciudad, donde hubo desplazamientos laterales superiores a dos metros. Esto resultó en la reactivación de la zona de fallas de Mixco, causando grandes daños. La falla de Santa Catarina no se reactivó, pero un fenómeno similar podría ocurrir. Los epicentros de sismos del período 1973-1974, los del terremoto de 1976 y los de un enjambre de sismos de mayo de 1988 en la parte sur-central del Graben, los cuales son difíciles de asociar con fallas conocidas, a no ser que se hallan producido por movimientos en fallas cubiertas por el relleno

piroclástico. Según la Revista Volcán (2003:4), además del Riesgo Sísmico en Guatemala existen otros, principalmente relacionados con aspectos topográficos.

Los estratos de pómez que forman la mayor parte del relleno del Graben se erosionan fácilmente. El graben tiene drenaje pluvial hacia el sur y hacia el norte, y en ambos casos, los ríos mayores han excavado valles en forma de barrancos con paredes de pendientes muy pronunciadas hasta casi verticales, algunos de ellos de hasta 60 metros de profundidad. En varias partes, la ciudad se extiende hasta el borde de los barrancos y se han dado casos como los del terremoto de 1976, en que las paredes del barranco se derrumbaron arrastrando algunas casas y soterrando otras.

Otro aspecto geológico que presenta un riesgo potencial es que con el crecimiento acelerado de la ciudad, ésta se ha extendido a las pendientes de las serranías que limitan el Graben.

<<Las rocas volcánicas del Terciario que forman dichas serranías en algunas partes presentan derrumbes antiguos que con el tiempo se estabilizaron. Los cortes efectuados sobre estos derrumbes para la construcción de viviendas y carreteras los desestabilizan, por lo cual se induce un riesgo potencial que puede provocar que el derrumbe sufra nuevos movimientos>> (Rev. Volcán, 2003:5).

E. DESPLAZAMIENTO DE FALLA

Al ocurrir un sismo grande los desplazamientos de la falla pueden ser del orden de decenas de centímetros a varios metros, por lo que la localización de las fallas superficiales debe de ser considerado en la evaluación de la amenaza. El desplazamiento de algunas fallas o secciones de éstas puede ocurrir en forma plástica o asísmica (tipo creep), es decir sin que se produzcan temblores. Este tipo de amenaza se limita a zonas muy cercanas al trazo de la falla.

La identificación y mapeo de las fallas activas permite delimitar las zonas sujetas a este tipo de amenaza. Otra clase de información, como la vigilancia de la actividad microsísmica, ayuda a descubrir o definir mejor las dimensiones de fallas que no muestran rasgos en la superficie.

F. MOVIMIENTO DEL SUELO PROVOCADO POR ONDAS SISMICAS

Cuando un sismo (de cualquier magnitud) ocurre, la superficie de la tierra experimenta movimientos vibratorios tanto verticales como horizontales a distintas velocidades y aceleraciones (dependiendo de las características del terreno, distancia y la frecuencia con que las ondas pasan).

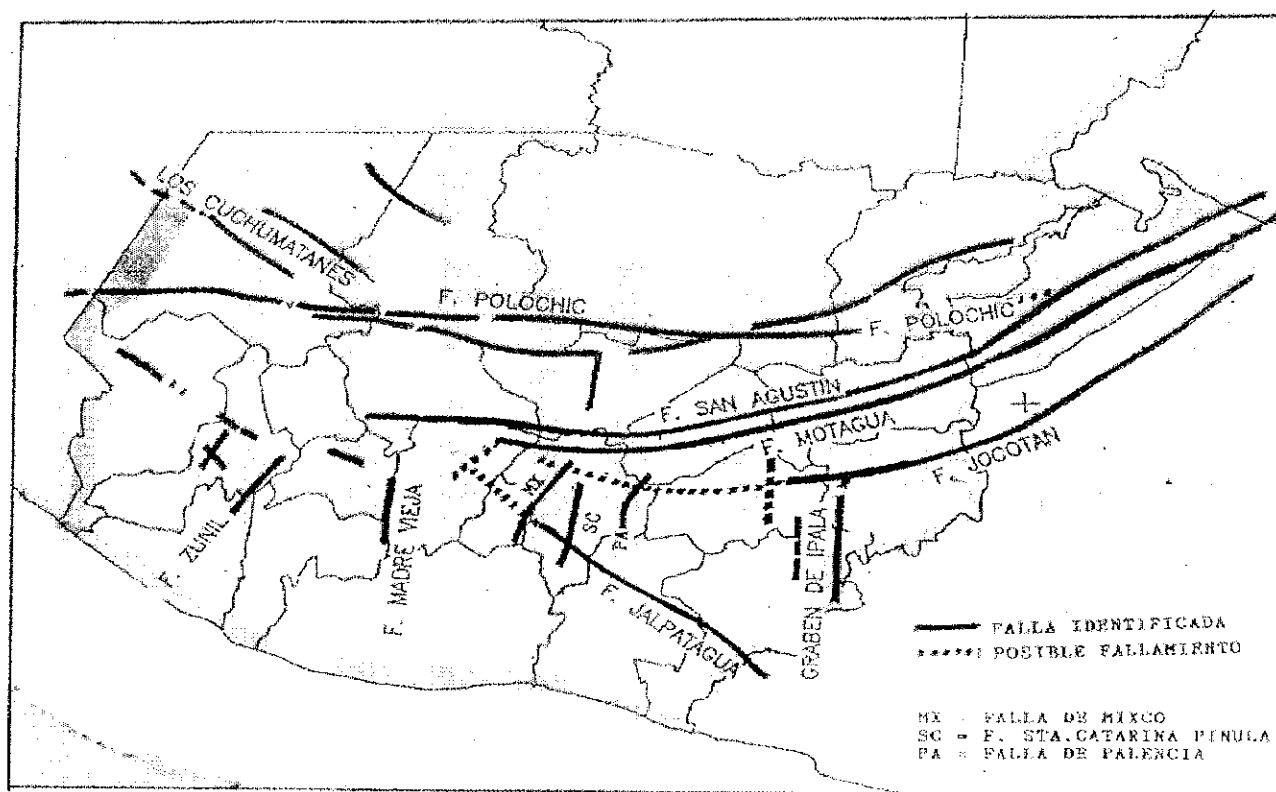


Figura 4. Mapa de Fallas Geológicas en la República de Guatemala

Tales movimientos pueden ser casi insignificantes (del orden de nanómetros y micrómetros) hasta relativamente grandes (centímetros). El parámetro más importante para la ingeniería es la aceleración. A los valores máximos se les denomina PGA (Peak

Ground Acceleration); normalmente valores iguales o mayores a 0.05 veces la aceleración de la gravedad (0.5 m/s^2) son considerados importantes y pueden causar daños. Este tipo de amenaza es la que produce, por lo general, mayores consecuencias durante un terremoto, aún en lugares a varias decenas o cientos de kilómetros de la falla o del epicentro.

Como se dijo anteriormente, el movimiento del suelo en un punto depende de: el tipo de falla que origina el sismo, la distancia al epicentro y las condiciones locales del terreno. Para estimar el grado de amenaza al cual estamos expuestos en este caso, necesitamos conocer cuáles son las fuentes o fallas que pueden generar sismos destructores, de qué magnitud y profundidad, con qué frecuencia en el tiempo, cómo se atenúa la amplitud de las ondas (según su frecuencia o período) con la distancia (ley de atenuación) y calcular con qué probabilidad, en el tiempo (años, décadas, siglos), se pueden dar aceleraciones horizontales importantes.

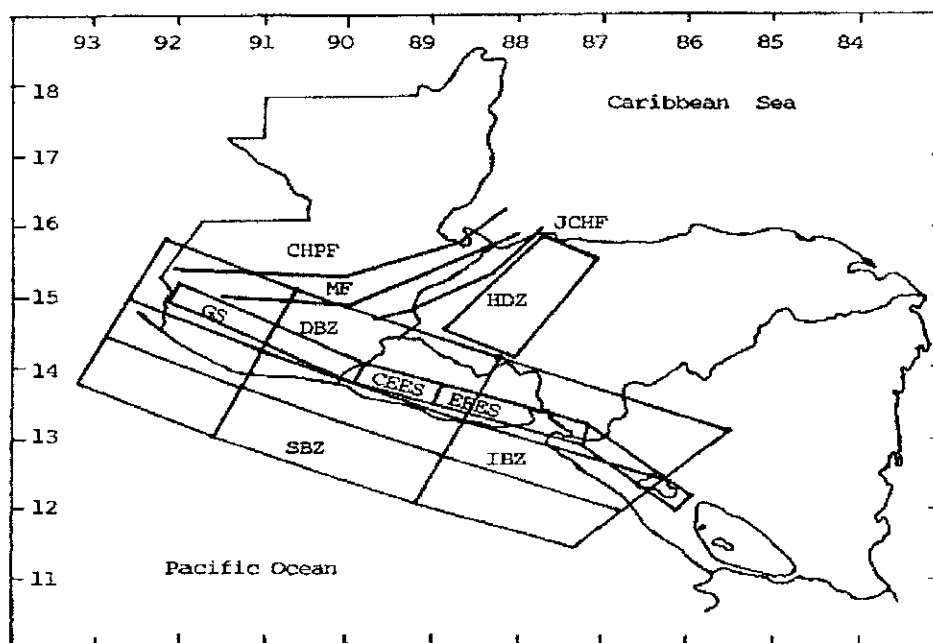


Figura 5. Fuentes sismogénicas utilizadas en el estudio de amenaza por Alfaro (1990). SBZ zona de subducción superficial, IBZ Zona de Subducción Intermedia, DBZ Zona de Subducción Profunda, CHPF Fallas de Chixoy Polochic, MF Falla de Motagua, JCHF falla de Jocotán Chamalecon, HDZ Depresión Hondureña, GS Sección de la Cadena Volcánica Guatemalteca, EEES Sección de la Cadena Volcánica Salvadoreña del Este, CEES Sección de la Cadena Volcánica Salvadoreña Central.

<<La información básica para identificar las fuentes sísmicas y conocer sus características o comportamiento en el tiempo es la historia sísmica en el país>>(Diag. de Prev de Desastres Nat. en Guatemala, 1976). Esta última ha sido descrita utilizando distintos métodos que abarcan diferentes períodos de tiempo.

La información geológica permite identificar las fallas activas y conocer su comportamiento en las últimas decenas de miles de años, lo cual es básico para cualquier estudio de amenaza sísmica. Además de los mapas geológicos publicados, existe información detallada sobre los desplazamientos ocurridos en las fallas de Chixoy Polochic y Motagua en los últimos miles de decenas de años.

La información de relatos o descripción de los daños abarca los últimos 500 años y se encuentra resumida en varios catálogos. Este tipo de datos ha permitido reconstruir el escenario de los daños (distribución de intensidades MMI) para algunos sismos y de aquí inferir qué falla o fuente los generó, entre otros parámetros.

Sin lugar a dudas, el paso más importante para vigilar y estudiar la actividad sísmica del país fue la instalación de la Red Sismológica Nacional en 1977, como una consecuencia positiva del terremoto de febrero de 1976. Para ello se utilizó de base las estaciones del Proyecto Vulcano. La red creció rápidamente, de siete (7) estaciones en 1977 a veinticinco (25) estaciones en 1982, permaneciendo casi constante su número durante toda la década. En 1990, debido a razones económicas su número se redujo a diecisiete estaciones, con las cuales se mantuvo hasta 1992. De 1993 en adelante el número de estaciones instaladas decreció rápidamente, hasta ser de cinco (5) a finales de 1994. La información de la actividad microsísmica registrada por la Red Sismológica Nacional se encuentra en los Boletines Sismológicos y en la base de datos de la Sección de Sismología de INSIVUMEH.

Durante el período de observación de la Red Sismológica Nacional (1977-1993) es posible distinguir tres (3) fuentes sísmicas principales: la zona de subducción, los fallamientos menores localizados en el Altiplano y los Grandes Fallamientos del Norte.

En un año típico, con al menos diecisiete (17) estaciones instaladas, se registran entre 2,500 a 3,000 sismos ($M < 6$), de los cuales un 70 a 75% provienen de la zona de subducción, un 15 a 20% se originan en los fallamientos superficiales del Altiplano y el resto en o cerca al sistema de Grandes Fallas del Norte (debemos recordar que la Red Nacional nunca llegó a cubrir el Norte de Guatemala).

Las tres fuentes sísmicas han generado eventos destructores en los últimos 500 años, siendo los ocurridos en los últimos 20 años el terremoto de Uspantán, Quiché, en octubre de 1985 y los recientes sismos de Tucurú y Tamahú, Alta Verapaz, diciembre de 1995, asociados a la falla de Chixoy Polochic. El terremoto de Pochuta, Chimaltenango, septiembre de 1991, asociado a los fallamientos menores del altiplano. En la zona de subducción han ocurrido sismos que han causado alarma y daños menores, como el ocurrido el 20 de mayo de 1980, que causó daños en varios municipios de los departamentos de Suchitepéquez y Retalhuleu.

Durante la década de los años 80 el INDE instaló dos redes con instrumentos de iguales características que los de la Red Nacional, para vigilar la actividad micro sísmica en el sitio de presa de los proyectos hidroeléctricos de Chixoy y Chulac respectivamente. Durante el período de operación de estas redes, que duró varios años, se tuvo control parcial de sismicidad en los grandes fallamientos del Norte. Parte de esta información fue publicada por el INDE en Boletines Sismológicos mensuales.

La información macrosísmica, distribución de intensidades MMI, e instrumental (período corto y movimiento fuerte), también ha servido para conocer mejor el espesor de la corteza y el aumento de la velocidad de las ondas con respecto a la profundidad en Guatemala; así como las razones por las que se atenúa la amplitud de las ondas con la distancia.

Toda la información anterior es necesaria para evaluar el potencial de amenaza debido al movimiento o vibración producido por la propagación de las ondas sísmicas a la hora de un terremoto. A la fecha existen cinco (5) estudios que estiman dicho potencial de

amenaza: uno a escala regional, Centroamérica, tres (3) a escala Nacional y otro específico para la ciudad capital. Los estudios a escala regional muestran las curvas de igual aceleración que puede esperarse al menos una vez en diferentes periodos de tiempo o de retorno, 50, 100, 500 o 1000 años.

G. ESTUDIOS DE AMENAZA SÍSMICA

Un estudio de amenaza sísmica persigue la descripción del potencial de ocurrencia de fenómenos relacionados con la ocurrencia de sismos o terremotos. La estimación de amenaza sísmica puede realizarse siguiendo distintas metodologías. Debido a que el conocimiento del fenómeno natural sísmico es limitado, <<las estimaciones determinísticas de amenaza sísmica han perdido campo frente a aquellos cálculos que presentan los resultados del análisis en términos del patrón probabilístico asociado>> (Ligorria, 1995). En un estudio probabilístico de amenaza sísmica, se siguen los siguientes pasos:

- 1. Identificación de Fuentes Sísmicas.** Investigación de estructuras geológicas potencialmente generadoras de sismos en el entorno de la edificación, considerando el ambiente tectónico regional y la revisión de catálogos sísmicos .
- 2. Recurrencia Sísmica.** Descripción del funcionamiento dinámico de las fuentes idetificadas, expresado en niveles de actividad sísmica.
- 3. Movimiento del Suelo.** Estimación de relaciones de aceleración con respecto a la distancia del sismo, i.e. relaciones de atenuación local.
- 4. Función Probabilística de Amenaza.** El último paso es la integración de la información compilada en término s de una probabilidad de excedencia, de aceleración, en determinado período de tiempo. También la curva puede ser normalizada a la probabilidad de nivel de aceleración, en un año.

En Guatemala, se han realizado varios estudios de Amenaza Sísmica (Kiremidjian y Lubetkin; 1977; Monzón, 1984; Ligorria et al., 1995; Villagrán et al., 1997). Estas investigaciones han seguido aproximadamente las mismas líneas de investigación mencionadas arriba. En general, cuando los niveles de amenaza son analizados a corto plazo; i.e. 50-100 años, la fuente sísmica que domina el panorama de amenaza es la zona de subducción al sur del país. Sin embargo, cuando los niveles de amenaza son considerados para largo plazo; i.e. más de 1,000 años, el sistema de fallas Motagua-Polochic representa los valores máximos de contribución a la amenaza.

La figura 6 muestra tres ejemplos de curvas de amenaza sísmica para distintos sitios en Guatemala. En este ejemplo, el nivel de amenaza en Puerto Quetzal presenta los máximos valores, lo cual es un reflejo de su proximidad a la zona de subducción, localizada en el océano Pacífico. En el otro extremo del escenario de amenaza, se encuentra la Ciudad de Flores, Petén. En este caso, el sitio se encuentra geográficamente aislado de las fuentes sísmicas de mayor importancia. De hecho, en el Petén no existe un historial de registros sísmicos por lo que los niveles de amenaza son relativamente bajos. El escenario intermedio lo representa la Ciudad de Guatemala, en cuyo caso la amenaza sísmica estimada representa contribuciones de todas las fuentes sísmicas que le rodean.

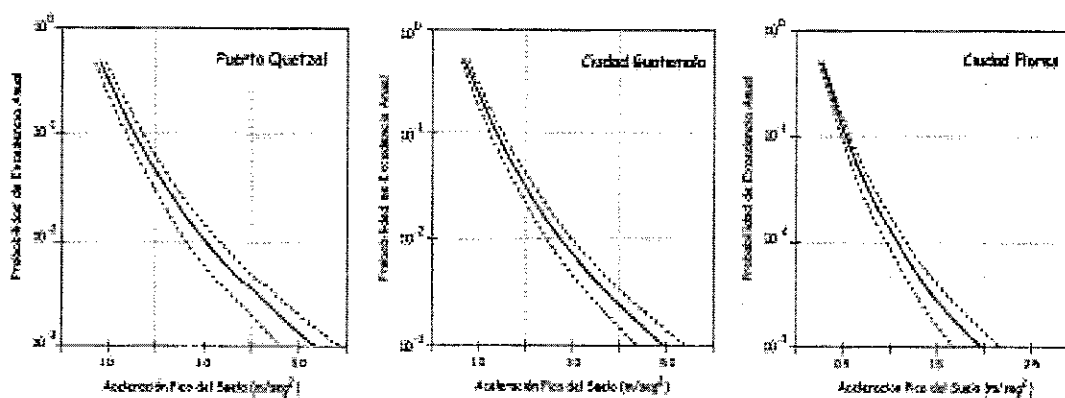


Figura 6. Curvas de Amenaza Sísmica para tres distintas localidades en Guatemala.

La constante revisión y elaboración de estudios de amenaza sísmica, ya sea de enfoque regional o en sitios específicos, es una herramienta de beneficio directo a obras de infraestructura. Por un lado, la eventual planificación de las obras debe tomar en cuenta

la amenaza a que se están sometiendo las inversiones. Aunque resulte evidente el nivel de amenaza de cualquier desastre natural, es necesario cuantificarla de manera objetiva, y aplicar estas estimaciones siguiendo técnicas de cálculo de niveles de riesgo. Además, cualquier iniciativa encausada al mejoramiento de infraestructura (i.e. reacondicionamiento estructural, reforzamiento, etc.) debe de considerar, como parte fundamental, el cálculo de niveles esperados de aceleración y pseudo-velocidad correspondientes. Utilizando estos parámetros, el ingeniero podrá estimar espectros de respuesta de las estructuras, una importante herramienta para diseño y cálculo estructural.

H. MACROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

El territorio de Guatemala se divide en macrozonas caracterizadas por su índice de sismicidad, el cual es una medida relativa de la severidad esperada del sismo en una localidad. O sea, que cada macrozona se caracteriza por la amenaza de sismo que exista en esa área. En este mapa se basa también la Calificación de Amenaza Básica para cada estructura, la cual es la que se utilizará para realizar la Evaluación Visual Rápida.

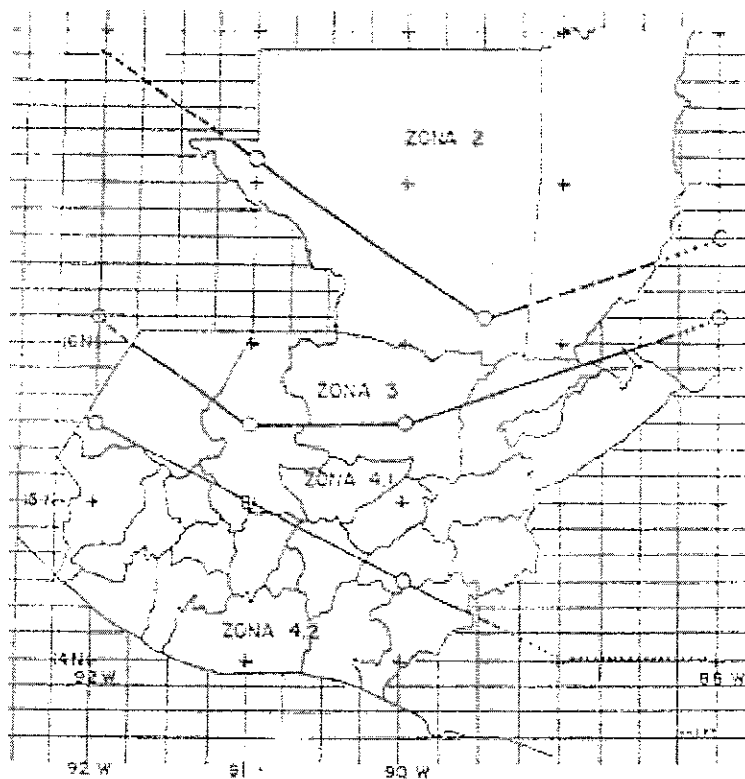


Figura 7. Mapa de Macrozonificación Sísmica.

III. MÉTODO DE EVALUACIÓN VISUAL RÁPIDO (MEVR)

El método de Evaluación Visual Rápido consiste en una inspección visual de una edificación con el fin de determinar rápidamente su vulnerabilidad sísmica; es decir, si es capaz de resistir fuerzas sísmicas o si hay dudas razonables del comportamiento sísmico de la misma cuando esté siendo afectada por un sismo. Para tal caso, este método busca determinar si la edificación evaluada debe o no someterse a una evaluación más detallada o profunda.

Debe tenerse claro que ninguna evaluación rápida puede dar una respuesta 100% confiable del comportamiento sísmico, y el MEVR está simplemente enfocado a identificar las edificaciones en donde existe duda razonable acerca de su comportamiento sísmico. En algunos casos, el MEVR puede no identificar edificaciones que son sísmicamente débiles, por lo que si existen dudas en los evaluadores de alguna edificación en particular, debe concluirse en la necesidad de una segunda evaluación.

Parte de la Evaluación Visual Rápida consiste en identificar que tipo de estructura o estructuras posee la edificación que se está evaluando, lo cual puede ser determinado por el inspector o evaluador fácilmente. Generalmente, esto envuelve el conocimiento adquirido por la práctica y la familiaridad que el inspector tenga con la arquitectura y construcción de las edificaciones a tratar.

A. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Cuando el inspector o evaluador identifica el tipo o tipos de estructuras que posee una edificación, se le asigna una Calificación Básica de Amenaza Estructural, la cual se muestra en el cuadro III-1.

Para el caso de la mampostería, puede surgir duda en cuanto a la ubicación del tipo de estructura dentro del “Sistema Estructural” adecuado. Las características principales y la Calificación Básica de Amenaza Estructural de estos se muestran en el cuadro III-2.

CUADRO III-1 Calificación Básica de Amenaza Estructural Para estructuras en el Área Sísmica de Guatemala Zona 4.1 y 4.2 (ver figura I-7)		
Tipo de Estructura		Calificación Básica de Amenaza Estructural
M	Estructuras de Madera	4.5
A1	Marcos de Acero resistentes a Momento	4.5
A2	Marcos de Acero con Breizas	3.0
A3	Estructuras de Acero Livianas	5.5
A4	Marcos de Acero con Muros de Corte de Concreto	3.5
A5	Marcos de Acero con Muros de Relleno de Mampostería	1.5
C1	Marcos de Concreto resistentes a Momento	2.0
C2	Muros de Corte de Concreto unidos a Marcos Rígidos de Concreto Reforzado	3.0
C3	Marcos de Concreto con Muros de relleno de Mampostería	1.5
CC	Construcción Compuesta	2.0
CP	Estructuras de Marcos de Concreto Prefabricado	1.5
MS	Estructuras de Mampostería Superior	3.0
MM	Estructuras de Mampostería Media	2.5
MNR	Mampostería No Reforzada	1.0

CUADRO III-2

Sistema Estructural	Iniciales	Características	Calificación "C"
Mampostería No Reforzada	MNR	ADOBE	+1.00

Mampostería Media	MMC	MAMPOSTERÍA CONFINADA	+2.50
	MMS	block o ladrillo con soleras y mochetas MAMPOSTERÍA DE MURO ANCHO (edificios bajos)	
Mampostería Superior	MS	MAMPOSTERÍA INTEGRAL	+3.00

Estas calificaciones varían de 1.0 a 5.5 dependiendo del tipo o tipos de estructuras en la edificación. Estos valores se han determinado de tal forma que una estructura sísmicamente buena posee un valor alto, y una estructura sísmicamente débil o amenazante posee una calificación baja. La finalidad que se persigue es que una edificación que no necesite una evaluación detallada obtenga una calificación “alta”; y que una que necesite una segunda evaluación tenga una calificación “baja”, y que la mantenga hasta que se demuestre lo contrario.

Existen factores que se deben tomar en cuenta ya que estos pueden afectar significativamente el comportamiento sísmico de una edificación. Algunos de estos son: irregularidades en el sistema estructural, condiciones de suelo adversas, materiales deteriorados, etc. Para tomar estos factores en cuenta, se desarrollo una lista de **Factores Modificadores del Comportamiento Sísmico (FMCS)**, los cuales son restados de la **Calificación Básica de Amenaza Estructural** cuando estos se presentan en una estructura determinada y se obtiene la **Calificación Estructural Final (C)**.

La información que se obtiene con el MEVR debe documentarse con bosquejos y fotografías de la edificación para:

- Identificar el sistema estructural más acertado para la edificación y la Correspondiente Calificación Básica Estructural.
- Identificar, por medio de inspección visual, todos los factores significativos que pueden modificar el comportamiento sísmico del edificio y los valores de los FMCS.
- Restar los valores de los FMCS de la Calificación Básica de Amenaza Estructural para llegar a una Calificación Estructural Final C.

Como ya se mencionó, la Calificación Estructural Final C es la medida básica que califica al edificio. Una **Calificación Final C** alta es buena, y una **Calificación Final C** baja indica que el edificio tiene un comportamiento sísmico pobre y que debe ser evaluado en detalle por un ingeniero profesional con experiencia en el diseño sísmico. De forma general, si la calificación estructural de un edificio es menor que 1.5, el comportamiento sísmico del edificio no cumple con los criterios sismorresistentes de diseño y debe investigarse y evaluarse más a fondo.

En este capítulo se discute con detalle cada uno de los elementos que conforman el formulario de Evaluación Visual Rápida, así como la **Calificación Final C**. Si al llenar la información del formulario se desconoce parte de esta o no es clara y el inspector la asume, se indica con un asterisco (*) a la par de la información asumida o supuesta en el formulario y se indica al final de este el significado del símbolo.

La secuencia para llevar a cabo este método es la siguiente:

- Entrenamiento de los Inspectores de Vulnerabilidad.
- Revisar el formulario de Evaluación Visual Rápida (ver anexo) para identificar toda la información que se debe recolectar.
- Recopilar toda la información disponible de la edificación que se está evaluando.
- Identificación de la estructura.
- Caminar alrededor de la edificación y hacer los bosquejos de la planta y elevación.
- Tomar las fotografías de la edificación.
- Anotar la información básica (número de niveles, sistema estructural, problemas significativos).
- Determinar la **Calificación Final C**.

B. CARACTERÍSTICAS QUE DEBE LLENAR EL INSPECTOR DE VULNERABILIDAD

El Inspector de Vulnerabilidad debe tener amplio conocimiento y experiencia en la construcción de edificaciones. Éste debe estar familiarizado con el diseño de los

distintos tipos de sistemas estructurales para que sea capaz de determinar el tipo de estructura que tenga una edificación a simple vista a la hora de realizar la evaluación.

Por esto se sugiere que el Inspector de Vulnerabilidad sea:

- Ingeniero Civil.
- Arquitecto.
- Estudiantes del último año de la carrera de Ingeniería Civil o Arquitectura.
- Personas con experiencia en el campo de la construcción.

C. CÓMO LLENAR EL FORMULARIO Y OBTENER LA CALIFICACION FINAL C.

1. Localización e identificación del edificio. En la parte superior del formulario (ver anexo) de evaluación se encuentra un espacio para anotar la localización e identificación de la edificación. Este es uno de los datos más importantes que deben completarse para tener una identificación exacta del edificio a evaluar. Para este caso, la forma más fácil de identificarlo es anotando la dirección exacta, nombre del propietario (en este caso es el estado), código de identificación (ver tablas V-2, V-3) y cualquier otra característica que ayude a identificar la edificación fácilmente.

2. Estructuración del edificio. Cada edificio deberá tener subestructuras planas como armaduras, marcos, riostras o combinaciones de estos, orientadas al menos en las dos direcciones principales de la estructura aproximadamente perpendiculares entre sí. El evaluador debe determinar por medio de inspección visual si se da o no la estructuración del edificio en las dos direcciones principales y lo debe indicar con un círculo en la parte inferior izquierda del área para bosquejos en el formulario de evaluación.

Si la estructura no está definida en las dos direcciones principales, se le debe asignar una Calificación Final de +0.25 o la menor entre este valor y la Calificación Final obtenida de la evaluación para indicar que la vulnerabilidad de la estructura es alta.

3. Número de niveles y área total del edificio. La altura de una edificación está relacionada con la dimensión de daño que pueda sufrir. Durante un sismo, una edificación de baja altura asentada sobre suelos rocosos puede entrar en resonancia con el período de vibración del suelo, mientras que en edificaciones del mismo tipo pero de gran altura no sucede lo mismo. El número de niveles es un buen indicador de la altura total de la edificación, tomando como referencia las siguientes alturas:

- Uso Residencial: 3.00 metros
- Uso Comercial / Oficinas: 3.65 metros

Una edificación de poca altura se define como aquella que tiene de 1 a 3 niveles; una edificación de altura media es aquella que se considera de 4 a 7 niveles; y una edificación alta se considera de 8 niveles en adelante. Generalmente, los valores de C para edificaciones de poca y mediana altura son similares, por lo que estos dos tipos se agrupan. Para las edificaciones de gran altura se considera un factor modificador del comportamiento sísmico en el formulario para tomar en cuenta su respuesta sísmica debida a la gran altura.

Cuando una edificación está ubicada sobre una ladera, el número de niveles no es buen indicativo de la altura total debido a que puede tener desniveles o varios techos con diferente altura cada uno. Como regla general, se debe usar el mayor número de niveles (contando desde el piso al nivel del suelo hasta el piso al nivel del techo).

La sección de comentarios y de bosquejos que se encuentra en el formulario debe utilizarse para indicar las variaciones en el número de niveles. El área total de los niveles se calcula multiplicando el área de cada nivel por el total de niveles en la edificación. Cuando el área total es estimada, esta observación debe anotarse en la sección de comentarios.

4. Ocupación y carga de ocupación. La información de la ocupación de la edificación se indica al circular el renglón apropiado en la parte media del extremo izquierdo del formulario. La Ocupación se refiere al uso de la edificación. La Carga de Ocupación se refiere al número de personas que habitan o trabajan en la edificación. Si

dentro de la edificación hay más de un edificio, se anotan los datos de ocupación para cada edificio dentro de la edificación. Aunque la ocupación y carga de ocupación no incrementa la vulnerabilidad estructural, es importante tener esta información para determinar prioridades en el momento de evacuación del edificio.

a. Ocupación. En el formulario están definidas nueve clases de ocupación: Residencial, Comercial, Oficinas, Industrial, Reuniones Públicas, Escuelas/Institutos, Edificio Gubernamental, Servicios de Emergencia y Edificación Histórica (ver cuadro II-3). La ocupación que mejor describa el uso de la edificación que se está evaluando, debe circularse en el formulario. Si la edificación tiene varios tipos de ocupación, debe circularse todos aquellos para los que está siendo ocupada. Por otro lado, el uso actual debe anotarse en la parte superior del formulario.

b. Carga de ocupación. La carga de ocupación se utiliza para establecer prioridades en planes de emergencia para evaluar primero las edificaciones que más ocupantes tengan. Como se puede ver en el formulario, la carga de ocupación se define en los rangos de 1-10, de 11-100 y de 100+ ocupantes. Debe circularse el rango que mejor represente el promedio de ocupación que tiene la edificación. Si la carga de ocupación se estima tomando en cuenta el tamaño y uso de la edificación, debe indicarse con un asterisco (*) que es un dato aproximado.

A continuación se detalla un cuadro en donde se define cada categoría de ocupación antes descrita y la carga de ocupación aproximada para cada una de ellas:

CUADRO III-3		
Categorías de ocupación y carga de ocupación		
Ocupación de la Edificación	Descripción	Carga de ocupación (m² de área/persona)
<i>Residencial</i>	Este tipo de ocupación se refiere a edificaciones residenciales tales como: casas, townhouses, dormitorios, moteles, hoteles, apartamentos, multifamiliares y condominios.	Residencias: 28 m ² Hoteles y Aptos: 19 m ² Dormitorios: 9 m ²
<i>Comercial</i>	La ocupación de tipo comercial se refiere a negocios, depósitos pequeños de mercadería, comerciales, instituciones financieras, restaurantes y parqueos.	5 – 19 m ²
<i>Oficinas</i>	Generalmente oficinas administrativas.	10 – 20 m ²

<i>Industrial</i>	En esta clasificación se incluye fábricas, depósitos grandes de mercadería/comerciales, y edificaciones de uso similar.	Generalmente: 20 m ² Depósitos Grandes: 47 m ²
<i>Reuniones Públicas</i>	Lugares de asambleas o reuniones públicas donde alrededor de 300 personas o más se encuentran en un espacio al mismo tiempo. Por ejemplo, teatros, auditoriums, Centros de Reuniones, Iglesias, etc.	Varía mucho, pero como mínimo es 1 m ²
<i>Escuelas/Institutos</i>	Este tipo de ocupación incluye establecimientos educativos públicos desde párvulos hasta universidades	5 – 10 m ²
<i>Edificación Gubernamental</i>	Incluye edificaciones para uso del estado y federales	10 m ²
<i>Servicios de Emergencia</i>	La categoría de emergencia está definida como cualquiera que puede ser necesitada en caso de una catástrofe. Esto incluye estaciones de policía, estaciones de bomberos, hospitales y centros de comunicación.	10 – 20 m ²
<i>Edificación Histórica</i>	Incluye todos los edificios catalogados como históricos y nacionales.	No aplica

5. Año de construcción. El año de construcción es un elemento clave en el MEVR porque está estrechamente vinculada con el tipo de diseño estructural y el tipo de construcción; por lo que es un factor importante para determinar el tipo de estructura y su calificación C.

Ahora bien, no es suficiente sólo conocer el año de la construcción de la edificación porque es posible que unas partes de ella fueran diseñadas o construidas antes o después que otras. Si éste fuera el caso, esto debe indicarse en la sección de comentarios; y dichas partes deben indicarse en el bosquejo anotando el año de su construcción para cada una de ellas.

Hay que tener cuidado al interpretar las fechas del diseño de la edificación y de la construcción. Es posible que la edificación se haya construido varios años después de que fue diseñada. Si el año de construcción es una aproximación, se debe utilizar un asterisco (*) para indicar que es una información estimada o subjetiva.

6. Peligros de colindancias / otros peligros. Los peligros de colindancias son un factor importante a tomar en cuenta porque muchas veces sucede que una edificación cuya estructura está relativamente bien, puede dañarse por daños o colapsos que sufren las edificaciones ubicadas en sus colindancias. Por lo tanto, si al evaluar una edificación se encuentran colindancias peligrosas, es necesario indicarlo en la casilla ubicada en el lado izquierdo del formulario y anotar en los comentarios de qué tipo de amenaza se trata.

De igual forma, debe indicarse la presencia de “Otros Peligros” inherentes o externos a la edificación, tales como cercanía a equipos de gasolina, gas o cualquier otro tipo de peligro que pueda ser amenazante a la edificación.

7. Bosquejos, fotografías y comentarios. Debe existir un bosquejo de la planta y de la elevación de la edificación para indicar características y rasgos significativos e importantes. Sin embargo, las fotografías pueden reemplazar al bosquejo de la elevación cuando es posible tomarla. Los bosquejos son importantes porque revelan características de la edificación mientras se recorre el perímetro de la misma.

El bosquejo de la planta debe incluir la localización del edificio en el sitio y la distancia con edificios adyacentes. Si todas las elevaciones del edificio son diferentes, se debe hacer una elevación por cada lado distinto. De otra forma, una única elevación indica que todas las elevaciones del edificio son iguales.

El bosquejo debe indicar características importantes, tales como grietas y problemas de configuración. Debe incluir dimensiones de la planta y de la elevación.

Para identificar fácilmente la edificación se debe tomar por lo menos una fotografía de ella. Por supuesto, el inspector no está limitado a una sola fotografía porque puede tomar las que considere necesarias. Una fotografía contiene mucha más información que el bosquejo de una elevación porque plasma todos los detalles de la edificación. Es difícil tomar la fotografía con una cámara fotográfica normal, porque el tamaño se distorsiona.

Es mejor utilizar una cámara digital para poder manipular la imagen (editarla) y así plasmar los detalles más importantes. Si es posible, la fotografía debe tomarse desde una distancia suficiente para incluir toda la edificación en todas sus caras. Se deben evitar los rayos directos del sol, el contraste con las sombras, árboles, vehículos y cualquier otro objeto que interrumpa la vista con los niveles más bajos, que son los más importantes.

Debido a que todos los detalles significativos de la edificación no se pueden incluir en la fotografía o bosquejo, es importante que el inspector incluya información importante adicional en el área de comentarios en el formulario.

8. Calificación Estructural. Al determinar el material estructural básico, se circula en el formulario la Calificación Básica de Amenaza Estructural (CB) correspondiente. Los Factores Modificadores de la Capacidad Sísmica (FMCS), que toman en cuenta los defectos más importantes, se determinan por inspección visual utilizando la información que se discutirá más adelante. Estos factores se restan del valor de CB para determinar la **Calificación Estructural Final C**. Cuando se aplica más de un modificador, cada uno de ellos se resta para determinar el valor numérico de **C**.

Una excepción para esa substracción de factores es cuando el edificio es relativamente moderno y se ha diseñado bajo códigos de diseño sismorresistentes. En tal caso, lo más probable es que la estructura esté diseñada para cargas sísmicas altas, tenga detalles especiales y durante su construcción tuvo la supervisión de un ingeniero estructural. Por lo tanto, estas edificaciones tienen un FMCS positivo, el cual se suma a la Calificación Básica de Amenaza Estructural en vez de restarlo.

9. Confiabilidad de los datos. El inspector encargado de la evaluación debe dar una indicación general de la confiabilidad de la información que está proporcionando en cuanto al material constructivo y el sistema estructural de la edificación para asignar el valor CB correspondiente, los valores de FMCS y la Calificación Estructural Final C. Si la información es estimada, subjetiva o insegura, entonces se debe utilizar un asterisco (*), cuya explicación debe estar en la sección de

comentarios. La información que puede caer en esta categoría es la siguiente: año de construcción de la edificación, área total, número de personas que habitan o trabajan en ella, tipo de estructura, tipo de suelo o cualquiera de los factores modificadores de comportamiento sísmico.

Cuando el inspector no esté seguro del tipo de estructura de la edificación, como primer paso debe eliminar todos los tipos de estructura que no apliquen a la estructura en cuestión. Si aún así quedan muchas opciones, el cómputo de la Calificación Estructural Final se debe tratar por varios caminos, tales como:

a. El inspector debe calcular **C** para todas las opciones posibles y utilizar el valor de **C** más bajo. Esto es un procedimiento conservador, pero precisamente por ser demasiado conservador, tiene la desventaja de afectar el resultado final presentando un Riesgo Sísmico de la edificación más grande que el que realmente presenta.

b. Si el inspector tiene poca o ninguna seguridad acerca del sistema estructural, se puede circular la casilla **DESCONOCIDO** indicando automáticamente que la edificación debe tener una segunda revisión detallada por un ingeniero profesional con experiencia.

c. El inspector puede circular la casilla **DESCONOCIDO** indicando una inspección de campo más detallada incluyendo toda la edificación, examinando sótanos, techo y todos los elementos estructurales detenidamente.

El inspector debe decidir cuál de las tres opciones precedentes va a adoptar.

10. Factores Modificadores del Comportamiento Sísmico (FMCS). Esta sección discute los factores que tienen un impacto estructural significativo en el comportamiento sísmico de una edificación. La capacidad estructural de una edificación depende del tipo de sistema estructural para resistir las fuerzas laterales y los valores de los **FMCS** dependen del tipo de estructura. Los **FMCS** se indican en las columnas de

datos del formulario. El valor respectivo se circula y se suma o se resta (según sea el caso) a la Calificación Básica de Amenaza Estructural para obtener la Calificación Estructural Final C.

a. Mal mantenimiento. Generalmente, el efecto en el comportamiento

sísmico de una condición pobre o de un mal mantenimiento es uno de los factores más difíciles de cuantificar. Este factor afecta al comportamiento sísmico cuando se utilizan materiales de baja calidad o materiales cuya calidad o especificaciones no fueron estimados en el diseño estructural. Un ejemplo clave es un asentamiento o movimiento excesivo desigual del suelo, típicamente detectado por grietas diagonales de corte perpendiculares al esfuerzo de tensión principal. Otros ejemplos de condiciones pobres para los diferentes tipos de estructuras son los siguientes:

1) Estructuras de madera. Miembros podridos, daños ocasionados por el agua o por invasión de animales (termitas por ejemplo) y enmohecimiento de los pernos y conectores.

2) Estructuras de acero. El defecto común más grande es la corrosión del metal, la cual se puede visualizar cuando los miembros tienen manchas, están descascarados o están despintados.

3) Estructuras de concreto. Fundición incorrecta del concreto (por ejemplo, separación del agregado grueso del fino, ratoneras), concreto deteriorado (por ejemplo, atacado por sustancias químicas o por utilizar la edificación para otros fines para los que no fue diseñada); exposición del acero de refuerzo que, comúnmente lleva a la corrosión.

4) Estructuras de mampostería. En los cuales el defecto más grande es un mortero inadecuado. Otros defectos incluyen asentamiento del suelo, el cual lleva a la aparición de grietas de corte grandes. Algo común en la

mampostería reforzada es olvidar reforzar algunas celdas y no llenarlas con grout, pero esto es muy difícil de detectar visualmente.

Obviamente, estas condiciones siempre van a requerir una inspección más detallada de la edificación. El mejor y más rápido indicador visual para evaluar este factor es el nivel de mantenimiento en general que tiene la edificación; es decir, si la edificación tiene un aspecto de estar abandonada porque no está pintada, deteriorada o sin cuidado alguno, entonces es seguro asumir que tiene un mal mantenimiento. Por el contrario, si la edificación está en buenas condiciones físicas, probablemente se han preocupado porque tenga buenas condiciones en todos sus aspectos. Sin embargo, no necesariamente se da esto.

b. Irregularidad vertical (irregularidad en elevación). Este factor se aplica a todos los tipos de estructuras. Si la edificación es irregular en elevación o si los muros no son perpendiculares al suelo, entonces se debe aplicar este factor. También se debe aplicar cuando la edificación se localiza en el borde de una ladera porque existe una diferencia de rigidez entre el lado de la estructura que pega contra la ladera y el lado que no pega contra ella.

La irregularidad es una característica difícil de definir, y se necesita experiencia y criterio para poder identificarla. Básicamente, si la edificación presenta irregularidades en elevación probablemente tendrá irregularidades en los demás elementos estructurales, por lo que este factor tendrá que substraerse de la Calificación Básica de Amenaza Estructural.

Para propósitos de la evaluación rápida, este factor puede presentarse en tres formas diferentes dependiendo del valor en porcentaje de la relación “IV” entre el área de la planta irregular al área total de la planta regular:

- Si IV es $> 40\%$, entonces tomar un valor de -0.50 y se considera una Irregularidad Vertical alta (a)

- Si IV es $> 20\%$, entonces tomar un valor de -0.30 y se considera una Irregularidad Vertical Media (m)
- Si IV es $> 10\%$, entonces tomar un valor de -0.20 y se considera una Irregularidad Vertical Baja (b)

Se plantean tres tipos de irregularidades porque dependiendo de la edificación y de lo que esta irregularidad le afecte como un todo, así será el valor con el que se debe castigar la Calificación Básica de Amenaza Estructural.

c. Nivel suave. Esto se refiere a la discontinuidad en rigidez de una edificación, donde la rigidez de un nivel es mucho menor que la de la mayoría del resto de niveles. Un nivel suave se puede considerar como aquel cuya rigidez lateral es menor que el 70% que la del nivel superior inmediato o menos del 40% de la combinación de rigidez de los tres niveles siguientes. Un ejemplo clásico de este problema es cuando los muros de corte o los muros de relleno no se extienden hasta la cimentación. El problema de “nivel suave” es difícil de identificar y verificar si no se cuenta con la información acerca de cómo se diseñó el edificio y cómo se están transfiriendo las fuerzas laterales de un nivel al otro. Y se vuelve aún más difícil si no se puede detectar desde el exterior la presencia de algún muro de corte.

Si una edificación tiene en su primer nivel aberturas grandes para ventanas, entonces se debe asumir que se trata de un nivel suave; y aún más cuando un nivel es particularmente alto y con ventanas en todos los lados y los niveles superiores tienen mucho menos ventanas que él. Si dos o tres muros adyacentes a un muro con ventanas grandes son sólidos o sólo tienen pequeñas aberturas, entonces el factor que debe aplicarse es el Factor Modificador de Torsión.

d. Torsión. Este factor se debe aplicar cuando existe una torsión significativa en la edificación, es decir cuando existan excentricidades grandes en el sistema para resistir fuerzas laterales.

Esta situación se da especialmente en las edificaciones de esquina y en edificaciones con forma de triángulo, en donde los dos lados de la edificación que dan a la calle tienen aberturas grandes para ventanas, mientras que el(los) otro(s) lado(s) es(son) generalmente sólido(s).

e. Irregularidad en la planta. Este problema ocurre en edificaciones de esquina o en edificaciones cuya planta es en forma de "L", "E" o "T" o cualquier otra forma irregular.

Otros dos problemas de este tipo son los muros de carga altos y esbeltos y edificaciones muy grandes con construcción compuesta que no tienen muros interiores para resistir las fuerzas de sismo. En el primer caso, la edificación puede tener en la dirección larga un sistema para resistir carga lateral bueno, pero uno muy pequeño en la dirección corta, principalmente cuando los muros son pequeños y tienen muchas ventanas.

Este factor debe aplicarse a todos los tipos de estructuras, en especial a las estructuras de madera, construcción compuesta, mampostería reforzada y mampostería no reforzada. Es raro encontrar un edificio cuya planta sea 100% regular.

Al igual que en la Irregularidad Vertical, para la Irregularidad en Planta existen tres criterios para aplicar este factor a las edificaciones dependiendo del valor en porcentaje de la relación "IP" entre el área de la planta irregular al área de la planta total:

- Si IP es $> 40\%$, entonces tomar un valor de -0.50 y se considera una Irregularidad en Planta alta (a)
- Si IP es $> 20\%$, entonces tomar un valor de -0.30 y se considera una Irregularidad en Planta Media (m)
- Si IP es $> 10\%$, entonces tomar un valor de -0.20 y se considera una Irregularidad en Planta Baja (b)

f. Colisión entre edificaciones adyacentes. Este fenómeno ocurre cuando hay muy poca separación entre edificaciones adyacentes y, durante un sismo, las edificaciones colisionan una contra la otra. También ocurre en una misma edificación cuando tiene varias torres y alguna o todas tienen diferentes alturas. Durante un sismo, un nivel se puede golpear con las columnas del otro nivel, destruyendo la columna y resultando en colapso parcial o total. Este fenómeno se aplica sólo a los edificios con estructuras de acero, estructuras con marcos de concreto prefabricados y estructuras con marcos de concreto.

Esto es problema sólo si no hay suficiente espacio entre edificaciones adyacentes. Según ATC-21 pag.125, la separación entre dos edificios debe ser de diez centímetros por nivel de la edificación más baja para prevenir este fenómeno.

Por ejemplo, si una edificación tiene cuatro niveles y la otra tiene diez niveles, la separación entre los dos debería ser de 40 cm (10 cm por nivel de la edificación más baja).

g. Paneles pesados para recubrir las fachadas. Este factor aplica a edificaciones que tienen un número significativo de paneles pesados para recubrir las fachadas, porque estos pueden caer al suelo durante un sismo. Es un factor importante de considerar porque la pérdida de los paneles puede crear una excentricidad grande en la rigidez de la estructura (estos elementos se consideran no estructurales pero contribuyen a la rigidez del edificio). Es importante notar que los paneles de vidrio no se consideran pesados.

h. Columnas cortas. La presencia de columnas cortas es un defecto principalmente de las edificaciones de concreto y mampostería, y consiste en columnas que fueron diseñadas para tener la altura total de un nivel pero, por colocar vigas de acople, secciones de muro entre las columnas o ventanas tienen una altura efectiva significativamente menor que la altura total del nivel. El efecto de las vigas de acople y de las secciones de muro es incrementar la rigidez a flexión de la columna,

entonces atrapa mucha más carga lateral que para la que fue diseñada. Esto resulta en fallas de corte en la columna. Este problema aumenta cuando las vigas de acople o los muros no se colocan simétricamente por lo que las fuerzas de corte se vuelven más concentradas.

Se hace una subdivisión de las columnas cortas porque dependiendo de las características propias de las columnas cortas y de la configuración estructural del edificio, así será el castigo que se debe aplicar a este FMCS.

- **Columnas cortas tipo (a) (FMCS = -0.80).** Se define este factor como aquellas columnas que pueden provocar bastante daño o colapso durante un sismo porque en la configuración estructural de edificio no existen muros (o existen muy pocos) en las direcciones paralelas y perpendiculares a las columnas que las ayuden a absorber las fuerzas sísmicas. También se puede considerar dentro de estas columnas aquellas que son muy cortas; o el grupo de columnas cortas con diferente dimensión cada una. Es mejor tener muchas columnas cortas de longitud media que pocas columnas cortas con diferente dimensión cada una o pocas columnas cortas de longitud escasa.

- **Columnas cortas tipo (b) (FMCS = -0.40).** Se define este factor como aquellas columnas que, a diferencia de las anteriores, sí poseen muros en las direcciones paralela y perpendicular a ellas que ayudan a absorber las fuerzas sísmicas. También puede considerarse dentro de esta categoría aquellas columnas cortas cuyas dimensiones, configuración y ubicación pueden no provocar muchos daños.

Una vez más, el criterio del inspector tiene un gran peso en la asignación del valor de estos factores.

- i. **Columnas aisladas menores de 30x30 centímetros.** Es importante considerar como FMCS la presencia o ausencia de columnas aisladas cuyas dimensiones sean menores de 30X30 centímetros porque para los requerimientos modernos de diseño estas secciones son muy pequeñas y no son aconsejables.

j. Elementos no estructurales. Este es un factor importante de tomar en cuenta porque se puede dar el caso de que la presencia de elementos no estructurales signifiquen una amenaza para la edificación que se está evaluando aunque la estructura esté en buena o mediana condición. Es importante asignarle un valor (negativo) y anotar en la sección de comentarios de qué tipo de amenaza se trata. En el cuadro siguiente se muestra algunos elementos no estructurales que pueden aumentar la vulnerabilidad de una edificación y que es necesario indicar el lugar que pueda ser afectado como “*Área Insegura*”:

CUADRO III-4

CONDICIÓN A INSPECCIONAR	OBSERVACIONES
PARAPETOS DE MAMPOSTERÍA	El inspector debe examinar estos elementos tanto como le sea posible. Incluso puede utilizar binoculares.
RÓTULOS	Generalmente, los rótulos de las aceras son los que sufren daño y pueden caer.
FACHADAS PREFABRICADAS	Si muchos paneles de la estructura están dañados, esta situación puede convertirse en una amenaza bastante grande para el área que está afectando; y de igual manera si las conexiones de los paneles al marco están dañadas.
CIELO FALSO E ILUMINACIÓN	La amenaza que provoca el cielo falso se centra en la posibilidad que este caiga al suelo durante un sismo o una réplica.
TABIQUES Y PARTICIONES INTERIORES	La principal preocupación de estos elementos es que una vez dañados, repentinamente pueden caer al suelo y dañar a la persona que esté cerca de ellos.
EQUIPO DE GAS Y GASOLINA	Los calentadores y equipo de este tipo comúnmente funcionan con gas o gasolina que es llevado hasta ellos a través de tuberías. Durante un sismo, el anclaje de estas tuberías a las paredes o a los cielos suele fallar, provocando que la tubería se mueva de su lugar original. Si esto llegara a suceder hay dos

	peligros que hay que reconocer: el área afectada se vuelve insegura, y el equipo dañado no debe utilizarse hasta que sea debidamente reparado.
ELEVADORES	Como una regla general, los elevadores no deberían de usarse después de un sismo hasta que sea detenidamente revisado por un ingeniero especialista.
VENTANALES	La presencia de ventanas muy grandes es un peligro porque durante un sismo pueden romperse y provocar daños materiales y humanos.
LÍNEAS ELÉCTRICAS	El mal aseguramiento de las instalaciones eléctricas a la estructura principal o un tendido eléctrico con peligro de colapsar es una amenaza para los ocupantes de una edificación.
ESCALERAS Y SALIDAS DE EMERGENCIA	Las escaleras y salidas de emergencia (si existieran) deben de ser estructuralmente seguras, y todas las puertas deben estar operables.

k. Código de diseño sísmico utilizado. Por lo expuesto anteriormente es fácil notar que la mayoría de los defectos de las edificaciones con normas sísmicas modernas presentan menos problemas de este tipo.

Sin embargo, que una edificación sea relativamente nueva no significa que presente un buen comportamiento sísmico durante un sismo.

Si existe la posibilidad de obtener la información del código de diseño sísmico que se utilizó para diseñar la estructura de la edificación, es fácil establecer si este FMCS es aplicable o no a la evaluación que se está realizando. Ahora bien si no es posible conseguir esta información, un buen indicativo para saber si este factor es aplicable o no es la fecha del diseño y de la construcción del mismo porque basándose en esto son identificables las normas de diseño utilizadas.

En el formulario se debe agregar este factor en el espacio en blanco y sumarse a la Calificación Básica de Amenaza Estructural. En el siguiente cuadro se muestran los factores para los distintos tipos de estructura y según la macrozona sísmica en donde se encuentre la edificación.

CUADRO III-5 (ver figura II-7 y cuadros III-1 y III-2)

MACRO ZONA	TIPO DE EDIFICIO											CC	M	MS
	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C2	C3	TU	MM	MNR			
2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	NA	0.8	NA	0.8	1.0	0.8
3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	NA	0.8	NA	0.8	1.0	0.8
4.1 y 4.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	NA	0.8	NA	0.8	1.0	0.8

Notas:

No se utilizó código: 0.0

Existe duda: 0.5

I. Tipo de suelo. Es bien conocido que el tipo de suelo ha tenido una gran influencia en la amplitud y duración del movimiento sísmico y del daño de la estructura. Para propósitos de esta evaluación, es suficiente catalogar al suelo en una de las siguientes categorías que representan los FMCS. Naturalmente no es posible identificar los tipos de suelos por medio de una inspección visual en el campo, por lo que es necesario recurrir a mapas existentes donde se indica el tipo de suelo en cada región del país.

Los tipos de suelo que representan los FMCS son los siguientes:

- 1) Perfil de suelo S1: (FMCS = +1.00 Edificio alto; -1.00 edificio bajo):
Satisface cualquiera de las siguientes condiciones:
 - Roca de cualquier clase; tal material puede caracterizarse por velocidades de onda de corte mayores que 800 m/s
 - Suelo Rígido cuyo basamento rocoso está a menos de 50 metros de profundidad y constituido por cenizas volcánicas, arenas, gravas densas o arcillas firmes.

- 2) Perfil de suelo S2: (FMCS = 0.00): Satisface cualquiera de las siguientes condiciones:
- Suelo firme, cuyo basamento rocoso está a más de 50 metros de profundidad y cuyos depósitos son cenizas volcánicas, suelos granulares densos, limos densos o arcillas firmes.
 - En general, suelos firmes y estables cuyos perfiles no se clasifican como S1 ni como S3.
- 3) Perfil de suelo S3: (FMCS = -0.60 para edificios de 1 a 7 niveles; -0.8 para edificios de 8-20 niveles): Satisface cualquiera de condiciones siguientes:
- Depósitos de más de 10 metros de espesor de cenizas, arenas o limos desde sueltos hasta de densidad media
 - Depósitos de más de 10 metros de espesor de arcillas blandas o semi blandas con o sin estratos arenosos intermedios.
 - En general, perfiles de suelo donde la velocidad de onda de corte del depósito es menor a 200 metros por segundo.

Según los mapas geológicos de la República de Guatemala de escala 1:50,000, hojas 2059 I, II y IV, el tipo de suelo que se encuentra en casi toda el área de la Ciudad de Guatemala es Tephra Interestratificada con Diamicotones Pumáceos y Sedimentos Fluvio Lacustres. Estos depósitos son de aproximadamente 50 mts de espesor y coinciden con el perfil de suelo S2, por lo cual será este el que se utilice en el Formulario de Evaluación.

IV. MÉTODO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS PRE-SISMO

El método de Evaluación de Daños Pre-Sismo tiene como objeto registrar el daño que tiene una edificación y determinar si este daño incrementa o afecta el riesgo ante un sismo que pueda sufrir la edificación. La evaluación sirve para asignar un Grado de Daño (ver cuadro III-2) a la estructura basándose en daños observables en la estructura principal y en elementos no estructurales, así como en daños que puedan ser generados por el entorno (amenaza geotécnica) y por amenaza de otros factores que puedan poner en peligro a los habitantes de una edificación a la hora de un sismo.

Para realizar la evaluación, el inspector debe conocer el sistema estructural, así como que daños son estructurales y cuales no y determinar en que grado afectan estos a la estructura. Luego que se ha registrado todos los daños, la magnitud de estos y la localización dentro de la edificación, así como determinar las amenazas que existen, el inspector debe determinar cual es el estado en que se encuentra la misma. Debe determinarse si se deben reparar los daños o hacer readecuaciones, así como determinar si hay que desarrollar algún sistema que disminuya o elimine las amenazas existentes.

A. DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN

Básicamente el proceso consiste en realizar una revisión ocular de la edificación para identificar y registrar todos los daños existentes. Primero se debe examinar la parte exterior del edificio para identificar el sistema estructural y para tener una idea general del estado en que se encuentra. Luego de esto, el inspector debe ingresar a todos los ambientes de la edificación y registrar los daños en cada uno de estos indicando la exacta localización y la magnitud de los mismos.

También debe especificar si los daños están afectando la estructura principal o si los daños se encuentran en elementos no estructurales, pero que se deben tener en consideración ya que presentan peligro para los habitantes.

El Inspector también debe realizar un recorrido por los alrededores para determinar si existen factores naturales o humanos que puedan afectar a la edificación. Es muy importante ver si la edificación no se encuentra cerca de laderas o de barrancos, ya que puede existir una amenaza de deslizamientos o derrumbes. También debe observar si existen fallas geológicas y/o grietas en el suelo que puedan dañar a la cimentación y otras partes de la estructura.

Debe examinarse si no hay amenaza de otras construcciones ajenas al lugar que se está evaluando que puedan afectar o son amenaza para la edificación. Ejemplo de esto son las líneas de alta tensión, tanques almacenadores de combustibles, materiales inflamables o gases tóxicos, y torres de comunicación u otras construcciones que puedan causar daño si se desploman o colisionan con el edificio que se está evaluando.

Al tener toda la información recabada, el inspector debe aplicar su criterio para determinar la magnitud de los daños y así establecer el Grado de Daño de la estructura para saber si este afecta o incrementa el Riesgo Sísmico de la edificación.

B. CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN DE LLENAR LOS EVALUADORES DE DAÑO.

Para llevar a cabo esta evaluación, se debe realizar con un equipo de por lo menos 2 personas, siendo una de estas un ingeniero civil o arquitecto como mínimo. El otro evaluador deberá poseer conocimiento en diseño sísmico de edificaciones similares a las que están siendo inspeccionadas.

El método de evaluación se deberá aplicar por ingenieros civiles, arquitectos o personas que tengan experiencia en el diseño, construcción y comportamiento de los distintos sistemas estructurales. Estos también pueden ser estudiantes de ingeniería o arquitectura que hayan completado los cursos del área de estructuras, materiales y construcción y que tengan experiencia práctica en la construcción.

C. CÓMO LLENAR EL FORMULARIO Y REGISTRAR LOS DAÑOS

Al igual que el formulario (ver anexo) para evaluación rápida de Riesgo Sísmico, lo primero que se debe llevar a cabo es identificar al edificio. En la parte superior izquierda del formulario (ver anexo) se debe escribir el nombre y dirección exacta del edificio, así como el número de niveles del mismo. El inspector debe determinar por medio de inspección visual si el edificio tiene sótano e indicarlo en el formulario para saber el número total de niveles.

También por medio de inspección ocular, el inspector o evaluador debe indicar cual es la ocupación primaria del edificio y marcarlo con una cruz o cheque en las opciones del formulario. Si el edificio tiene más de una ocupación primaria se indican las que tenga, o si es ninguna de las que se encuentran indicadas, se escribe en la parte de abajo.

El inspector debe determinar el sistema estructural que tiene la edificación e indicarlo en el formulario justo debajo del área de Ocupación Primaria. Si no es ninguno de los sistemas descritos en el formulario, el inspector debe escribirlo en la parte de abajo de esa sección. También debe especificar el tipo de estructura que está evaluando. Por ejemplo si el sistema estructural es de concreto reforzado, el inspector debe especificar si es de marcos (C1), de marcos con muros de corte de concreto (C2), marcos con muros de relleno de mampostería (C3), o de estructuras de marcos de concreto prefabricado (CP). Si la estructura es de construcción compuesta (CC), lo escribe en la sección de otros y debe especificar de que sistemas estructurales está compuesta.

En la parte superior derecha de formulario el inspector debe indicar la Categoría de Seguridad de la edificación (ver cuadro IV-2), así como los Datos de la Inspección y de los Inspectores de Daño.

A la sección de *Datos de la Inspección* se le debe prestar atención especial ya que es allí donde queda registrada la fecha y hora en la que se realizó la evaluación. Esta información debe ser real y no estimada, ya que se puede darse el caso que halla un sismo

poco tiempo después de la evaluación y que este genere daños adicionales a los que ya se habían registrado. Entonces, si la información acerca de la fecha y hora de la evaluación no son reales, pueden surgir dificultades con respecto a la asignación del Grado de Seguridad de la edificación.

En la sección *de Datos del Inspector de Daño* se debe escribir el nombre del inspector y a que grupo de evaluación pertenece. Esto será útil para que a la hora que exista duda acerca de la evaluación o se requiera realizar una nueva, se tiene la información de a quién recurrir ya que es esta persona la que puede aclarar la duda y la más recomendable para realizar una evaluación nueva.

D. CONDICIONES A EVALUAR

1. Colapso total o parcial. Generalmente este renglón tiene más uso para un evento post-sismo ya que es muy difícil encontrar una estructura colapsada que todavía este siendo habitada mucho tiempo después de haberse dado el sismo que la daño. De cualquier manera, se indica en la casilla si se da, se describe en la sección de comentarios que área o áreas son las que están colapsadas y se recomienda no habitar la edificación. Si se tiene duda de que los elementos colapsados (ej. muros de relleno, tabiques) afectan de manera global la integridad de la estructura, se recomienda una evaluación detallada y se acordonan las áreas dañadas como “Inseguras”.

2. Edificio o cualquiera de su niveles fuera de plomo. El inspector debe verificar que el edificio no esté fuera de plomo ya que esto puede indicar un daño serio a la cimentación, o en los amarres entre los elementos del mismo. Si el edificio o alguno de sus niveles se encuentra fuera de plomo, se debe indicar en el formulario y especificar en el área de comentarios que nivel se encuentra fuera de plomo o si es todo el edificio en sí. Si hay indicio de esto se debe recomendar que no se habite el edificio y que se lleve a cabo una evaluación detallada para establecer la magnitud del daño.

Al igual que el inciso anterior, generalmente esto se da para un evento post-sismo ya que un edificio fuera de plomo que esté siendo habitado es muy poco común si el evento sísmico que lo dañó ocurrió mucho tiempo atrás.

3. Grietas severas en los muros y señales de daño a la estructura primaria.

Este es el renglón más importante de la evaluación de daños pre-sismo, ya que va a ser este el que indique el Grado de Daño que haya que asignar a la edificación. El inspector de daño debe establecer un criterio para registrar los daños y describir su localización y magnitud exacta. Por ejemplo, el inspector puede utilizar los puntos cardinales para describir la localización del daño dentro de la edificación. El inspector, en base a su experiencia y conocimiento, también debe identificar si los daños están localizados en elementos estructurales o en elementos no estructurales. Si los daños son estructurales y son globales, se indica en la casilla “sí” de este renglón y se registran en el área de comentarios o en el área de notas y esquemas. Es muy importante que todos los daños queden registrados no importando su magnitud ni en que tipo de elementos se encuentren, ya que cuando se tomen en consideración todos juntos, el inspector aplicará su criterio para determinar la Categoría de Seguridad de la edificación. A continuación se muestra una tabla para establecer la magnitud de los daños, las soluciones estructurales posibles para el elemento y grado de daño característico para cada uno de estos.

CUADRO IV-1

Agrietamiento	Ancho	Grado de Daño	Ejemplo de soluciones estructural posibles del elemento.
Fisura	<0.4 mm	1	No requiere reparación
Grieta	<1.0 mm	2	Reparación con resinas epóxicas
Fractura	<5.0 mm	3	Aumento de dimensiones y acero de refuerzo
Dislocación	>5.0 mm	4	Demolición y construcción de un elemento nuevo

Para tener una mayor exactitud en el registro de los daños, el inspector de daño puede utilizar un grietómetro para establecer el ancho del agrietamiento.

4. Presencia de amenazas de elementos no estructurales. El Inspector debe verificar que los elementos que no tienen función estructural estén debidamente acoplados a la estructura principal. Los elementos no estructurales son los que no tienen ninguna función estructural sino más bien una función mecánica, arquitectónica o eléctrica y son los que dan o mantienen los servicios de en la edificación. Si estos elementos están dañados y existe la posibilidad que puedan caer al suelo durante un sismo se deben registrar los daños en el formulario y delimitar el área como “insegura” (ver cuadro III-4).

Ejemplos de elementos no estructurales que pueden convertirse en una amenaza son los siguientes:

- Voladizos y Cornisas
- Elementos de fachada
- Cielo Falso y sistemas de iluminación
- Equipo mecánico y eléctrico
- Elevadores
- Ductos de ascensores, mecánicos y eléctricos
- Tabiques de mampostería o prefabricados
- Parapetos en voladizo

a. Voladizos, cornisas y elementos arquitectónicos similares.

Constituyen una amenaza importante ya que pueden caer al suelo en determinado momento. Mientras que algunos de ellos caen al suelo durante el sismo, otros pueden quedar en su lugar pero seriamente dañados, vulnerables a las réplicas o a las mismas fuerzas gravitacionales.

b. Fachadas arquitectónicas prefabricadas. Son utilizadas principalmente para forrar las estructuras consistentes en marcos de concreto. Estas fachadas prefabricadas pueden ser de aluminio, concreto prefabricado, piedra, vidrio o de cualquier otro material similar. La mayor amenaza se presenta cuando hay fachadas con vidrios rotos o cuando se desajusta el panel prefabricado de su posición

original (falla de los anclajes del panel al marco) debido a que el nivel donde está anclado ha sido reducido a escombros.

c. Fachadas arquitectónicas de mampostería. Las fachadas de mampostería también pueden convertirse en una amenaza no estructural si se encuentran desintegradas en su totalidad o si presentan daños importantes. Pueden presentar también agrietamientos o falla parcial que pueden no ser significativos.

d. Cielo falso. El cielo falso generalmente se daña bastante durante un sismo por lo que puede crear una situación de amenaza para el área que afecte si este llegara a caer al suelo.

e. Tabiques y particiones interiores. Estos elementos pueden ser de concreto, mampostería (reforzada y no reforzada), tablayeso, tabiques prefabricados o desmontables, entre otros. Cada uno de ellos se puede convertir en una situación amenazante.

f. Equipo mecánico y eléctrico: Dentro de esta categoría se encuentran: equipos de gas, equipos de agua, tanques, elevadores y cualquier otro equipo que pueda encontrarse en un edificio y que se utiliza para servicios generales. La mayoría de este equipo es dañado porque su sistema de sujeción falla y por lo tanto se mueve de su lugar original. En tal caso, se crea una situación amenazante porque en cualquier momento el equipo puede caer al suelo.

g. Ductos de mampostería de ascensores: Pueden ser peligrosos si se sueltan los anclajes de los rieles o si se desalinean los rieles o si hay fragmentos desprendidos.

h. Ductos de mampostería eléctricos o hidráulicos: Es necesario verificar los daños.

i. Líneas de gas. La primera acción y más importante a tomar es cerrar el suministro y revisar las fugas.

5. Amenaza geotécnica. Los fenómenos geotécnicos pueden causar daños y amenazar la seguridad de las estructuras. Un sismo puede inducir fallas en el suelo debajo o en las cercanías de una construcción, poniendo en peligro la integridad física de la edificación y/o de los ocupantes de la misma. Se puede dar el caso que el sistema estructural no se encuentre dañado y que sea habitable, pero que las amenazas geotécnicas que le rodean sean tan severas que se tenga que considerar a la edificación como insegura para su utilización.

Las masas de suelo pueden moverse por una de las causas siguientes: caídas, volcaduras, deslizamientos, corrimientos o por una combinación de cualesquiera de las anteriores. Algunos de estos movimientos son grandes y ocurren muy rápido, pudiendo causar muchas víctimas; otros son más lentos pero pueden llegar a ser muy destructivos. Los movimientos en el suelo provocan grietas en el suelo, comúnmente llamadas fallas del suelo.

Las fallas en el suelo se manifiestan como asentamientos, corrimientos, grietas, deslizamientos, derrumbes o licuación. Entre las principales causas de fallas en el suelo cabe mencionar las fallas geológicas (zonas de contacto entre placas tectónicas) y colapso de cavernas o cavidades en el subsuelo.

Entre otras causas de fallas en el suelo cabe mencionar la consolidación, la cual se da en suelos sueltos poco compactados, propensos a asentarse por el peso propio o el de estratos superiores; y la saturación del suelo, que ocurre cuando se incrementa el contenido de humedad del suelo sobrepasando su capacidad de absorción.

a. Asentamientos. Un asentamiento ocurre cuando hay un cambio relativo de nivel entre dos porciones de suelo adyacente generalmente causado por un sismo, por licuación del suelo o por la consolidación del mismo. Este tipo

de falla puede fracturar los cimientos y causar daños estructurales severos a la superestructura de la edificación.

b. Corrimientos. Los corrimientos son desplazamientos horizontales relativos del mismo estrato o capa de suelo, perdiéndose la continuidad del terreno a lo largo del corrimiento. Generalmente se manifiestan en fallas geológicas y pueden ser pequeños o de grandes dimensiones a través de grandes distancias.

c. Grietas. Las grietas son aberturas que se forman sobre la superficie del terreno debido a fallas geológicas, sismo o cambios volumétricos por pérdida de humedad en el suelo.

d. Deslizamientos. Un deslizamiento es el movimiento de un bloque de tierra hacia fuera y hacia abajo (debido a fallas de corte en el suelo). Se manifiesta principalmente en las laderas cuyos taludes pierden su estabilidad debido a los sismos, características inherentes del suelo, contenido de agua, el clima, condiciones de uso o bien una combinación de estas.

e. Derrumbes. Los derrumbes son desprendimientos bruscos de materiales que ruedan cuesta abajo debido a la pérdida de estabilidad causada por vibraciones del suelo (provocadas por sismos, erupciones volcánicas, explosiones, vibraciones de maquinaria, saturación, socavamiento y aguas subterráneas) dando como resultado que el material desprendido se acumule en la base de talud o ladera y generando un grave peligro para las construcciones que se encuentren en la parte baja de la ladera.

f. Licuación. Por el efecto de las vibraciones causadas por un terremoto, algunas capas del subsuelo formadas por materiales movedizos de escasa granulometría pueden asentarse, provocando el hundimiento de las capas suprayacentes. Las formaciones arenosas empapadas de agua pueden ser objeto de la licuación, al aumentar las sacudidas sísmicas la presión intersticial por transferencia de la

carga de las intersuperficies granulares hacia el agua capilar, provocando así una disminución brutal de la sustentación. Sólo un inventario previo de todas las capas blandas mediante investigaciones geofísicas y geológicas permitirá evitar la construcción de edificios en las zonas peligrosas.

Si alguna de las fallas con las características anteriores se manifiesta cerca o en la edificación, se debe considerar que la edificación tiene amenaza geotécnica. Para evaluar los daños se debe indicar e inspeccionar toda falla apreciable y anotarla haciendo referencia al numeral 5 del formulario de evaluación.

E. CLASIFICACIÓN DEL GRADO DE DAÑOS EN LAS EDIFICACIONES

Ya que el inspector tomó en cuenta todas las condiciones a evaluar y registró todos los daños dentro de la edificación, debe usar el criterio y la experiencia para asignar la Categoría de Seguridad. En el siguiente cuadro se muestra el Grado de Daño que se debe asignar a una edificación según la magnitud de los daños y de la continuidad o frecuencia que se manifiestan dentro de la estructura.

CUADRO IV-2

GRADO	DAÑOS	DESCRIPCIÓN
1	Ligeros	No hay derivas permanentes. La estructura mantiene sustancialmente la resistencia y rigidez originales. Fisuras finas en fachadas, particiones, cielos y algunos elementos estructurales. Funcionan todos los sistemas importantes de operación normal. Los daños carecen de importancia para la estabilidad de la estructura y puede dejarse en su situación actual. Problemas no importantes de humedad.
2	Moderados	No hay derivas permanentes. La estructura mantiene sustancialmente la resistencia y rigidez originales. Pequeños agrietamientos en fachadas, particiones, cielos y algunos elementos estructurales. Los daños carecen de importancia para la estabilidad de la estructura si se refuerza localmente, sin necesidad de refuerzo. Problemas importantes de humedad. No

		hay falla de muros o parapetos fuera de su plano. Daños en muros de cerramiento, tabiques, instalaciones, ventanería y cielos falsos.
3	Daños Considerables	Fracturas largas y profundas repetitivas en todo el edificio en los muros de relleno y parapetos, presentando peligro a sus ocupantes. Fracturas con exposición de refuerzo en elementos estructurales como losas, vigas, columnas y/o muros de carga y estas son repetitivas, solamente en determinada área de la edificación, pero se considera que la estructura como un todo no representa peligro inminente. Se requiere de refuerzo y reparación de daños mayores fundamentalmente fracturas que disminuyen la resistencia y rigidez del elemento y/o problemas de estabilidad del elemento.
4	Severos	Alta presencia en todo el edificio de fracturas con exposición de refuerzo en elementos estructurales como losas, vigas, columnas y/o muros de carga. Existencia de derivas permanentes, algunas salidas están bloqueadas, fallas en parapetos de relleno. Daño severo en la estructura principal como elementos de marcos rígidos, unión de viga columna, muros de corte, muros de carga, losas y techos. Se requiere de reconstrucción de elementos por dislocaciones con pérdida de material, colapsos o derrumbes y la reparación y refuerzo de los elementos estructurales fracturados. Los daños afectan a la estabilidad de la construcción y debe ser evaluada globalmente.
5	Total	Colapso del edificio.

Por último el inspector debe realizar apuntes en el área de comentarios que ayuden a complementar la evaluación. Cuando le sea posible, debe realizar bosquejos de los detalles de los daños más relevantes para ayudar a explicar la magnitud y localización del daño.

Como paso final, debe indicar si la edificación debe ser sometida a una evaluación detallada si existe duda acerca de la seguridad de la misma.

V. CRITERIOS Y ELABORACION DEL DICTAMEN DE RIESGO SÍSMICO

Después que el inspector llevó a cabo la Evaluación Visual Rápida en la edificación y luego de haber registrado todos los daños y las amenazas que hay en ella y a su alrededor, se debe integrar toda la información recabada para realizar el Dictamen de Riesgo Sísmico. En este capítulo se mencionan los parámetros que se deben tomar en cuenta para hacer el dictamen, así como los criterios que se tienen que utilizar para poder obtener al fin un dato que nos diga que tanto riesgo corre la edificación ante un futuro sismo.

Es muy importante que la misma persona o grupo de personas llevaron a cabo la evaluación y el registro de los daños, sea la que vaya a realizar el dictamen para que exista congruencia entre los datos tomados en el campo y entre los que se está dictaminando.

La Evaluación de Riesgo Sísmico nos lleva a identificar las posibles fallas potenciales que pueden presentarse con anterioridad a un evento sísmico en las edificaciones. Esto permitirá iniciar una evaluación analítica de los sistemas estructurales y sus elementos individuales para mejorar la seguridad y el comportamiento sísmico de las edificaciones.

A. CATEGORÍA DE PRIORIZACIÓN

Para determinar el Riesgo Sísmico se debe tomar en cuenta un criterio de priorización de las edificaciones según la importancia que tengan. Este criterio obedece a que existen edificaciones que deben de seguir funcionando después de que suceda un evento sísmico considerable. Sin el funcionamiento de estas edificaciones, se verán incrementadas las pérdidas humanas de manera considerable. El siguiente cuadro muestra las categorías de priorización según la importancia estratégica y operativa que representa la edificación.

CUADRO V-1 CATEGORÍAS DE PRIORIZACIÓN	
CATEGORÍA TIPO	I N C L U Y E:
CATEGORÍA 1	Edificaciones de Salud esenciales de 1er orden: <ul style="list-style-type: none"> • Hospitales y Centros de Salud que ofrecen servicios de atención médica de emergencia y atención de enfermedades graves para una gran cantidad de población.
CATEGORÍA 2	Edificaciones de Salud no esenciales de 2do orden: <ul style="list-style-type: none"> • Puestos de Salud y Cuerpos de Bomberos que ofrecen atención primaria y algunos cuidados básicos o de primeros auxilios.
CATEGORÍA 3	Centros Educativos: <ul style="list-style-type: none"> • Nivel Pre-primario • Nivel Primario • Nivel Básico • Nivel Diversificado • Guarderías infantiles
CATEGORÍA 4	Oficinas de Gobierno de 1er orden: <ul style="list-style-type: none"> • Gobernación departamental y Alcaldías (Centros de coordinación de actividades de emergencia en caso de desastres)
CATEGORÍA 5	Oficinas de Gobierno de 2do orden: <ul style="list-style-type: none"> • Edificios de la Policía Nacional (Centros de Seguridad y de Apoyo en la Coordinación de actividades en caso de desastre) • Cárceles y Centros de detención
CATEGORÍA 6	Edificios estratégicos de 1er orden: <ul style="list-style-type: none"> • Casa Presidencial • Secretaría de la Presidencia • Congreso de la República • Corte Suprema y Tribunales
CATEGORÍA 7	Edificios Estratégicos de 2do Orden: <ul style="list-style-type: none"> • Ministerios y sus dependencias • Secretarías • Juzgados • Otras dependencias

B. NÚMERO DEL EXPEDIENTE

En los siguientes cuadros se muestra los códigos y el orden en que el inspector tiene que identificar la edificación que está evaluando.

CODIGOS UTILIZADOS PARA LA IDENTIFICACION DE EDIFICACIONES EVALUADAS

CUADRO V-2

Código	Significado
MCD	Ministerio de Cultura y Deportes
MED	Ministerio de Educación *
MEM	Ministerio de Energía y Minas
MS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MAC	Ministerio de Arte y Cultura
MD	Ministerio de Desarrollo
MEC	Ministerio de Economía
MG	Ministerio de Gobernación
MDF	Ministerio de la Defensa
MRE	Ministerio de Relaciones Exteriores
MT	Ministerio de Trabajo
MCIV	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda
MP	Ministerio Público

* El Ministerio de Educación tiene una codificación adicional dependiendo del nivel educativo que se imparte en esa edificación. Los códigos a aplicar son los siguientes:

CUADRO V-3

Código	Nivel Educativo
PP	Preprimaria
P	Primaria
B	Básico
D	Diversificado

Para identificar el Departamento y Municipio del lugar en donde se encuentra la edificación evaluada, se escribe la o las primeras iniciales del Municipio y luego la o las primeras iniciales del Departamento separadas ambas por una coma.

Ejemplo

MED-P-G,G-ZI-001: Ministerio de Educación - Nivel Primario -- Municipio de Guatemala, Departamento de Guatemala – zona 1 – Edificación evaluada No. 001.

MS-P,E-ZI-001: Ministerio de Salud –Municipio de Palín, Departamento de Escuintla – zona 1 – Edificación evaluada No. 001.

C. CRITERIO PARA DETERMINAR SI LA AMENAZA GEOTÉCNICA AFECTA EN EL RIESGO SISMICO DE LA ESTRUCTURA

Si se observan fallas en el suelo que mantienen continuidad en su dirección y dimensión y atraviesan la construcción o se localizan cerca de esta, serán consideradas de mayor peligro debido a que pueden afectar tanto a la cimentación como a otras partes vitales de la estructura.

Si una falla muestra movimiento relativo del suelo de 5 cms o más en sus direcciones vertical, longitudinal y/o transversal (asentamientos, corrimientos y/o grietas), deberá considerarse como una edificación insegura, aunque dicha falla no se manifieste con daños visibles en la edificación.

En taludes es importante verificar si existen indicios de falla en el suelo, tales como grietas tensionales en la corona o en la pendiente para determinar la seguridad de estructuras ubicadas en las cercanías de la corona o pie del talud, así como las que se encuentran sobre el talud propiamente dicho. También es muy importante verificar que no exista riesgo de derrumbes que puedan afectar a las estructuras. La pendiente del talud y las características del material son importantes en este tipo de fallas.

Las fallas por deslizamiento en taludes se caracterizan por grietas paralelas al talud, con extremos redondeados cuando el bloque en movimiento es de gran tamaño y grietas circulares cuando el bloque en movimiento es pequeño (de unos cuantos metros). Otra

clara manifestación de deslizamiento se presenta cuando se ven arboles sobre la ladera que pierden su verticalidad.

En las zonas donde se inicia el proceso de licuación, suelen aparecer pequeños montículos de material (similares a la boca de un zompopero), por donde se produjo la expulsión de agua. La dispersión lateral del suelo, que comúnmente se manifiesta como un levantamiento de material en las proximidades del evento es otra característica del fenómeno de licuación. Si hay indicios de estos fenómenos en el terreno, también se debe considerar a la estructura cercana como insegura y bajo amenaza geotécnica.

Cualesquiera de las amenazas mencionadas con anterioridad, (deslizamientos, derrumbes, licuación) implica que las edificaciones que se puedan ver afectadas deben considerarse como inseguras y bajo una amenaza geotécnica. Por lo tanto, se debe asignar una Calificación Final de $C = +0.25$ o la más crítica entre está y la obtenida después de la evaluación. Es importante anotar en las conclusiones del Dictamen de Riesgo Sísmico el porque de la calificación y el tipo de amenaza que se encontró en el lugar.

D. OTROS FACTORES QUE INCREMENTAN EL RIESGO SÍSMICO DE UNA ESTRUCTURA

1. Estructuras de adobe. Si la estructura que se evaluó es de adobe, se le asigna la calificación estructural más crítica entre $C = +0.25$ y la que se obtenga después de la evaluación. Esto es porque este tipo de construcción no sigue ningún tipo de código de diseño sismorresistente y por lo tanto su comportamiento ante un sismo es malo y presenta una gran amenaza para sus ocupantes. Entonces, es necesario asignarle una Calificación Final baja para realizar una evaluación detallada que determine el tipo de readecuación que necesite la estructura.

2. Estructura no definida en dos direcciones. Si la estructura NO está definida en

al menos dos direcciones, también se le asigna la calificación estructural más crítica entre $C = +0.25$ y la obtenida de la evaluación. Esto también se debe a que el comportamiento de la estructura que no está definida en al menos dos direcciones no tiene un buen comportamiento sísmico por tener una de sus direcciones más débil, por lo que presenta amenaza para sus ocupantes. Este factor se debe de incluir como *Factor Modificador del Comportamiento Sísmico* de la estructura y debe anotarse en el área del Dictamen de Riesgo Sísmico.

E. INTEGRACIÓN DEL GRADO DE DAÑO AL DICTAMEN DE RIESGO SÍSMICO

Cuando los Daños registrados en la edificación afectan y disminuyen la capacidad sismorresistente de la estructura, también se debe modificar la Calificación Final de ésta. Si el Grado de Daño asignado a la edificación por el inspector es igual o mayor a 4, se asigna la calificación más crítica entre $C = +0.25$ y la que se obtenga de la evaluación. Con esto el inspector indica que se debe realizar una evaluación detallada a la edificación para determinar el tipo de reparaciones o readecuaciones que se deben llevar a cabo para que sea habilitada.

Es muy importante que el inspector haga la anotación en el Formulario de Daños Pre-Sismo y que en el Dictamen de Riesgo Sísmico incluya esto como un *Factor Modificador de Comportamiento Sísmico* que influye en la *Calificación Final*.

F. ESCALA DE RIESGO SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA Y RECOMENDACIONES

En el siguiente cuadro se muestra el nivel de Riesgo Sísmico que se debe asignar a las edificaciones según el rango en el que se encuentre su Calificación Estructural. Es importante notar que todas las edificaciones que tengan una Calificación Estructural de $C = +0.25$ o que presenten amenazas, daños o factores antes descritos, tienen un **Riesgo Sísmico Estructural Alto**. Esto es con el fin de que se le realice una evaluación detallada a la edificación.

CUADRO V-4

ESCALA DE RIESGO SÍSMICO	
RIESGO SÍSMICO ESTRUCTURAL	CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL "C"
MÍNIMO	$C \geq 1.50$
ALTO	$-1.00 < C \leq 1.50$
MUY ALTO	$C \leq -1.00$

Para recomendar un análisis analítico o una reparación de una edificación después de haber sido evaluada por riesgo sísmico, se deberá utilizar los siguientes criterios.

CUADRO V-5

ESCALA DE RECOMENDACIÓN	
CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL "C"	RECOMENDACIÓN
$C \geq 1.50$	No hay problema en la edificación. Se puede habitar libremente
$-1.00 < C < 1.50$	Se recomienda un análisis analítico o evaluación detallada
$C \leq -1.00$	Se recomienda la readecuación o reparación.

Por último, después que el inspector ha determinado el Riesgo Sísmico que posee la edificación, debe indicar y anotar en el área de Conclusiones y Recomendaciones de los dictámenes todos los comentarios y recomendaciones necesarias para justificar los resultados obtenidos y para indicar el estado de la edificación.

En el anexo hay ejemplos de cómo deben llenarse los dictámenes después de realizadas las evaluaciones. El primer dictamen corresponde a una edificación construida antes del terremoto, localizada en el centro de la ciudad y con un Riesgo Sísmico alto.

El segundo dictamen corresponde a una edificación construida después del terremoto, localizada en la zona 9 y con un Riesgo Sísmico Mínimo. Ambas edificaciones tienen daños considerables pero la magnitud de estos no incrementa el Riesgo Sísmico.

VI. COMPARACIÓN Y RESULTADOS DE LAS EVALUACIONES

Se llevó a cabo la evaluación de 12 edificaciones con un total de 41 edificios construidos antes del terremoto de 1976, y 12 edificaciones con un total de 40 edificios construidos después del terremoto.

Las edificaciones evaluadas son en su mayoría escuelas, pero también hay edificios de oficinas, edificaciones militares y centros de atención de emergencias. La localización de las edificaciones varía, pero las edificaciones construidas antes del terremoto se encuentran en su mayoría en la zona 1 de la Ciudad de Guatemala. Las edificaciones construidas después del terremoto se encuentran distribuidas en las zonas urbanas de la capital.

Los sistemas estructurales más comunes son de mampostería para los edificios construidos antes del terremoto, y de mampostería y de concreto reforzado para los edificios construidos después del terremoto. Para los edificios de mampostería construidos antes del terremoto, los hay de mampostería no reforzada (adobe), mampostería de muro ancho (piedra y bloques entrelazados) y de mampostería confinada (block con columnas y soleras). Los edificios de mampostería construidos después del terremoto, son la mayoría de mampostería confinada pero también los hay de mampostería superior (ver cuadro III-2).

La altura de los edificios construidos antes del terremoto varía de 1 a 4 niveles y la de los construidos después del terremoto varía entre 1 y 12 niveles. Los factores que se tomaran en cuenta para realizar la comparación de las edificaciones son la Calificación Final, Grado de Daño, presencia de amenaza geotécnica y la escala de Riesgo Sísmico, es decir, la magnitud del riesgo en el que se encuentran las edificaciones.

El código de la edificación, así como su información básica y los factores antes mencionados se muestran en las siguientes tablas. Una para edificaciones construidas antes y otra para edificaciones construidas después del terremoto.

CUADRO VI-1 Evaluaciones de edificaciones construidas antes del terremoto.

CODIGO	NOMBRE	DIRECCION	Carga Ocup.	Tipo Estruc.	Valor C	Grado Daño	Amenaza Geotécnica		Escala Riesgo	¿Evaluación Detallada?	
							SI	NO		SI	NO
IND-G-G-Z1-008	Contraloría General de Cuentas	5a. Avenida 9-95 zona 1	150	C1	2.2	3		X	mínimo		X
MAC-G-G-Z1-002	Museo Nacional de Historia	9 calle 9-70 zona 1	20	MM	1.9	3		X	mínimo		X
MED-P-G-G-Z1-006	Escuela oficial de Niñas # 8, Manuel Cabral	14 calle 12-71 zona 1	390	MM	0.4	3		X	alto	X	
MED-P-G-G-Z1-004	Esc. Oficial Urb Para niñas #3, D. Bedoya de Molina	7 Av. 13-73 zona 1	290	MM	1.2	1		X	alto	X	
MED-P-G-G-Z1-004			10	MM	2.7	2		X	mínimo		X
MED-P-G-G-Z1-009	Escuela Grupo Escolar Centroamericann	10 calle 2-37 zona 1	1050	C1	0.9	3		X	alto	X	
MED-B-G-G-Z1-005	Escuela Nacional de Ciencias Comerciales	10 Ave 9-42 zona 1	376	C1	1.9	3		X	mínimo		X
MED-B-G-G-Z1-005			220	MM	2.4	2		X	mínimo		X
MED-B-G-G-Z1-005			234	MM	2.4	2		X	mínimo		X
MED-B-G-G-Z1-005			220	MM	2.4	2		X	mínimo		X
MED-PP-G-G-Z1-008	Escuela para Parvulos No. 61:Cent. Atención Integral	Av. Bolívar 25-00 zona 1	115	MM	1	3		X	alto		X
MS-G-G-Z3-001	Puesto de Salud Zona 3	26 calle 5-43 Zona 3	2	MM	0.25	4		X	alto	X	
MS-G-G-Z3-001			50	MM	2.4	2		X	mínimo		X
MS-G-G-Z3-001			6	MM	2.2	2		X	mínimo		X
MS-G-G-Z3-001			6	MM	2.4	2		X	mínimo		X
MS-G-G-Z3-001			7	MM	0.25	4		X	alto	X	
MS-G-G-Z3-001			1	MM	2.5	1		X	mínimo		X
MS-G-G-Z3-001			6	MM	2.2	2		X	mínimo		X
MS-G-G-Z3-001			120	MM	2	2		X	mínimo		X
MS-G-G-Z3-001			10	C1	2	1		X	mínimo		X
MED-P-G-G-Z5-001	CEPAZ No. 2 (25 de Junio)	26 Ave. 32-00 Zona 5	160	C2	4.2	2		X	mínimo		X
MED-P-G-G-Z5-001			30	MM	3.2	1		X	mínimo		X
MED-P-G-G-Z5-001			25	CC	0.25	4		X	alto	X	
MED-P-G-G-Z5-001			60	MM	3.5	1		X	mínimo		X
MED-P-G-G-Z5-001			2	CC	0.25	4		X	alto	X	
MED-P-G-G-Z5-001			30	C1	3	2		X	mínimo		X
MED-P-G-G-Z5-001			350	C2	3.8	2		X	mínimo		X
MED-PP-G-G-Z5-002	Jardín de Niños, Natalia Gorriiz de Morales	23 calle 28-24 zona 5	52	MM	0.25	4		X	alto	X	
MED-PP-G-G-Z5-002			435	MM	1.8	3		X	mínimo		X
MED-O-G-G-Z10-001	Ministerio de Educación -MINEDUC-	6 calle 1-87 zona 10	12	MNR	0.6	2		X	alto	X	
MED-O-G-G-Z10-001			85	MM	4.2	2		X	mínimo		X
MED-O-G-G-Z10-001			68	MNR	0.2	2		X	alto	X	
MED-O-G-G-Z10-001			8	MNR	0.9	3		X	alto	X	
MDF-G-G-Z10-002	Brigada Militar, Guardia de Honor	6 ave entre 1a y 2a calles Z 10	950	MM	1.2	2		X	alto	X	
MDF-G-G-Z10-002				MM	1.4	1		X	alto	X	
MDF-G-G-Z10-002				MM	1.9	1		X	mínimo		X
MDF-G-G-Z10-002				MM	1.9	2		X	mínimo		X
MDF-G-G-Z10-002				MM	3	1		X	mínimo		X
MDF-G-G-Z10-002				MM	1.5	1		X	mínimo		X
MDF-G-G-Z10-002				MM	2.4	1		X	mínimo		X
MDF-G-G-Z10-002				MM	1.5	1		X	mínimo		X

TABLA VI-2 Evaluaciones de edificaciones construidas despues del terremoto

CODIGO	NOMBRE	DIRECCION	Carga Ocup.	Tipo Estruc.	Valor C	Grado Daño	Amenaza Geotécnica		Escala Riesgo	¿Evaluación Detallada?	
							SI	NO		SI	NO
MT-G.G-Z1-001	Ministerio de Trabajo y Previsión Social	14 Calle 5-49 Z. 1	400	C1	2.2	2		X	mínimo		X
MT-G.G-Z1-001			400	C1	1.4	3		X	alto	X	
MED-P-G.G-Z1-001	Centro educativo para la paz -CEPAZ	1era. Calle 2-64 zona 1	1000	C2	3.4	2		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z1-001	talleres		60	C3	3.4	2		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z1-001	bodega		1	MM	4.4	2		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z1-010	Escuela para Niñas República de Argentina	6a. Calle 2-20 zona 1	230	MM	3.4	1		X	mínimo		X
IND-G.G-Z1-015	Almacén del Tribunal Supremo Electoral	3a. Calle 1-67 Zona 1	15	C1	2.1	2		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z1-005	Esc. of. No 2 de Varones. Rep. De Costa Rica	14 calle 14-70 zona 1	227	MM	4.4	1		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z1-005			120	MM	4.4	1		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z3-001	Escuela Primaria Alberto Mejía	6a. Ave. 27-36 Z. 3	520	C1	2.9	2		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z3-001			55	C2	4	2		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z3-001			25	C2	4	2		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z3-001			4	MM	3.9	1		X	mínimo		X
MED-P-G.G-Z3-001			30	MM	3.1	2		X	mínimo		X
MED-D-G.G-Z5-002	Instituto Nacional Tecnológico	14 avenida 25-07 zona 5	490	MM	3.1	2		X	mínimo		X
MED-D-G.G-Z5-002			250	MM	3.4	2		X	mínimo		X
MED-D-G.G-Z5-002			3	MM	2.9	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004	Unidad Periferica del IGSS. Zona 5	Diag. 14 16-93 zona 5	2	MM	4	1		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			30	C1	3.4	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			60	C1	3.4	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			50	C1	2.9	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			100	C1	2.6	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			60	C1	2.9	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			20	C1	2.9	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			20	C1	2.9	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			250	C1	2.9	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			400	C1	2.9	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			10	C1	3.4	1		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			400	C1	3.4	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			40	A3	6.9	1		X	mínimo		X
IND-G.G-Z5-004			2	MM	0.25	3		X	alto	X	
IND-G.G-Z10-006	Torre Marfil. Sala de Apelaciones, Org. Judicial	6a. Ave. 4-83 Zona 10	2	C1	2.9	1		X	mínimo		X
IND-G.G-Z10-006			148	C1	3.9	1		X	mínimo		X
MED-PP-Z11-001	Escuela de Párvulos # 40	C. Roosevelt 8-01 zona 11	2	MM	4	2		X	mínimo		X
MED-PP-Z11-001			243	C2	4.9	2		X	mínimo		X
IND-G.G-Z12-003	Centro de Coordinación de Emergencias	B. Liberación 12-40 Z.12	30	C1	3.9	1		X	mínimo		X
MED-B-G.G-Z21-001	Inst. Nac. Educación Basica 14 julio de 1789	6 ave. 10-82 zona 21	80	MS	4.9	1		X	mínimo		X
MED-B-G.G-Z21-001			130	MS	4.9	2		X	mínimo		X
MED-B-G.G-Z21-001			210	C2	4.4	2		X	mínimo		X
MED-B-G.G-Z21-001			10	MS	5	1		X	mínimo		X

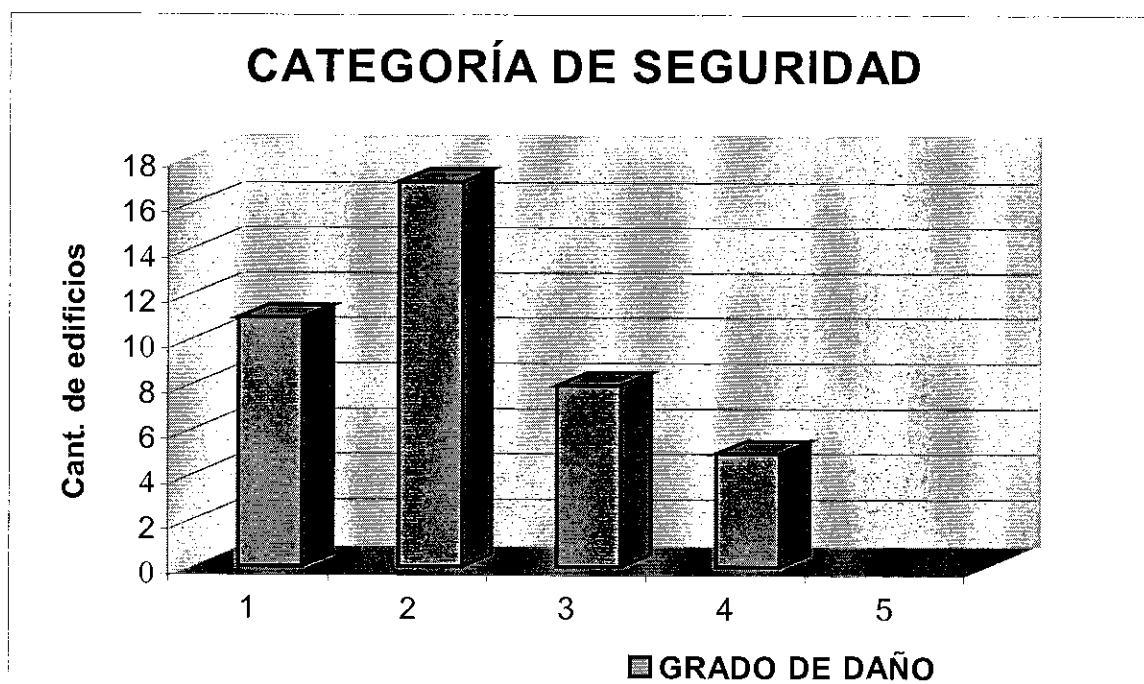
A. RESULTADOS DE EVALUACIONES REALIZADAS EN EDIFICIOS CONSTRUIDOS ANTES DEL TERREMOTO.

En el cuadro y el gráfico se observa la distribución de los edificios según el grado de daño que tienen. Para los edificios construidos antes del terremoto de 1976, el 68% de los edificios poseen daños ligeros y daños moderados. El 20% de los edificios poseen daños considerables, por lo que se deben reforzar los elementos que tienen este tipo de daño. El 12% de los edificios tienen daños severos, es decir, que los daños incrementan el Riesgo Sísmico de las estructuras y se deben realizar readecuaciones para poder habilitarlas. Ninguno de los edificios poseen daño total.

CUADRO VI-3

GRADO DE DAÑO	MAGNITUD	CANTIDAD DE EDIFICIOS
1	Ligero	11, (27%)
2	Moderado	17, (41%)
3	Considerable	8, (20%)
4	Severo	5, (12%)
5	Colapso Total	0

GRÁFICO VI-1



En este cuadro y en el gráfico se muestra el nivel de Riesgo Sísmico que poseen los edificios evaluados que fueron construidos antes del terremoto de 1976. El 66% de los edificios poseen un Riesgo Sísmico mínimo y por lo tanto se pueden habitar libremente. El 34% de los edificios poseen un Riesgo Sísmico Alto. Esto indica que a los edificios se les debe de realizar una evaluación detallada o un análisis ingenieril para determinar que tipo de readecuación se debe de llevar a cabo. En el caso de los edificios que son afectados por el grado de daño que tienen, se debe de determinar que tipo de reparaciones se deben de realizar para poder disminuir el Riesgo inducido por el daño en los mismos. Ninguno de los edificios posee un Riesgo Sísmico muy alto.

CUADRO VI-4

ESCALA DE RIESGO SISMICO	CANTIDAD DE EDIFICIOS
Riesgo mínimo	27
Riesgo alto	14
Riesgo muy alto	0

GRÁFICO VI-2



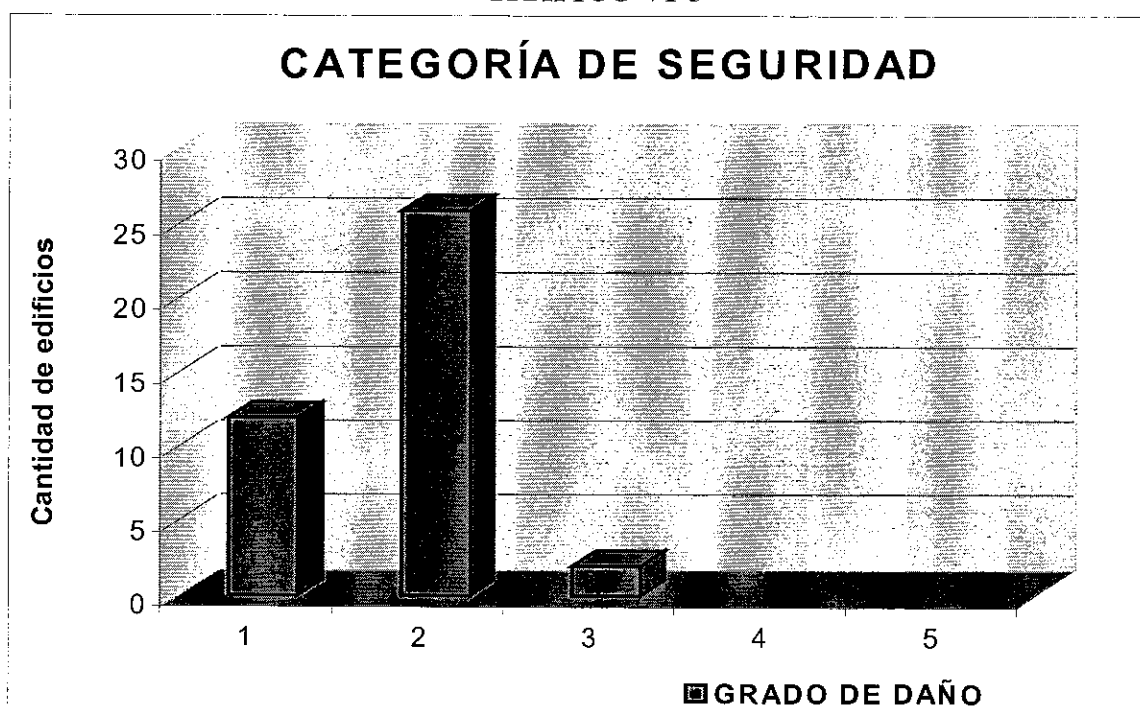
B. RESULTADOS DE EVALUACIONES REALIZADAS EN EDIFICIOS CONSTRUIDOS DESPUES DEL TERREMOTO.

En el siguiente cuadro y en el gráfico se muestran los resultados de la magnitud de daños en los edificios construidos después del terremoto de 1976. El 30% de los edificios poseen daños ligeros por lo que pueden dejarse en su situación actual. El 65% de los edificios poseen daños moderados que no afectan a la estabilidad de la estructura, y sólo se deben realizar reparaciones menores. El 5% de los edificios poseen daños considerables de carácter local y sólo se deben de reforzar los elementos con esta magnitud de daño. Ninguno de los edificios poseen un grado de daño igual o mayor a 4 y por lo tanto ningún edificio posee daños que aumenten el Riesgo Sísmico de los mismos.

CUADRO VI-5

GRADO DE DAÑO	MAGNITUD	CANTIDAD DE EDIFICIOS
1	Ligero	12, (30%)
2	Moderado	26, (65%)
3	Considerable	2, (5%)
4	Severo	0
5	Colapso Total	0

GRÁFICO VI-3



El nivel de Riesgo Sísmico para edificios construidos después del terremoto se muestra en la siguiente tabla y en el gráfico. El 95% de los edificios posee un Riesgo Sísmico mínimo, es decir, que los edificios pueden dejarse en su situación actual y pueden habitarse libremente. El 5% restante de los edificios posee un Riesgo Sísmico alto. Esto indica que a los edificios se les debe realizar una evaluación detallada o un análisis ingenieril para determinar que tipo de readecuación se debe de llevar a cabo. Ninguno de estos edificios fueron afectados por la magnitud de daño, y ninguno de los edificios posee un Riesgo Sísmico muy alto.

CUADRO VI-6

ESCALA DE RIESGO SÍSMICO	CANTIDAD DE EDIFICIOS
Riesgo mínimo	38
Riesgo alto	2
Riesgo muy alto	0

GRÁFICO VI-4



C. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

Al realizar la comparación de los resultados de las evaluaciones de Riesgo Sísmico de edificaciones construidas pre y post terremoto, se pueden hacer varias observaciones.

Ninguno de los edificios evaluados presentan amenaza geotécnica por lo que ninguno de estos presenta un riesgo sísmico alto debido a este factor. También se puede observar que sólo 5 edificios fueron afectados por la magnitud de los daños que tenían, es decir, sólo 5 edificios presentaban un Riesgo Sísmico alto debido al grado de daño que tenían. En el caso de todos los edificios evaluados, la mayoría estos presentan una magnitud de daño moderado.

Los edificios construidos antes del terremoto presentan más daños de tipo considerable (20%) y severo (12%) en comparación con los edificios construidos después del terremoto, de los cuales sólo un 5% presentan daño considerable y ninguno presenta daño severo.

La Calificación Final de los edificios construidos antes del terremoto varía entre 4.2 y 0.2, mientras que la Calificación Final de los edificios construidos después del terremoto varía entre 4.9 y 0.25.

Por último, se puede observar que un 34% (más de un tercio) de los edificios construidos antes del terremoto presentan un Riesgo Sísmico alto y sólo el 5% de los edificios construidos después del terremoto presentan un Riesgo Sísmico alto. Ninguno de los edificios evaluados presentó un Riesgo Sísmico muy alto y ninguno de los edificios presentan daño total, es decir, que no presentan un Grado de Daño igual a 5.

El 34% de los edificios construidos antes del terremoto necesitan que se les realice una evaluación detallada o un análisis ingenieril, y sólo el 5 % de los edificios construidos después del terremoto necesitan tal evaluación.

VII. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Como herramientas para establecer el Riesgo Sísmico de las edificaciones, el Método de Evaluación Rápido y la Evaluación de Daño Pre-sísmico resultan ser muy eficientes. Las evaluaciones toman poco tiempo para llevarse a cabo y los formularios para llevarlas a cabo están diseñados para obtener la información de la manera más rápida, exacta y eficiente.

Esta herramienta puede ser utilizada por ingenieros, arquitectos, estudiantes de ingeniería y arquitectura y hasta por personas que sólo estén familiarizadas con el campo de la construcción después de una breve capacitación.

Estas evaluaciones también se pueden llevar a cabo después de un evento sísmico y serviría para determinar de una manera rápida si las estructuras que se encuentran en pie son seguras para ser habitadas o no, o si dichas estructuras representan un peligro para otras estructuras.

En este caso las evaluaciones se llevaron a cabo en un grupo de edificaciones para determinar si éstas son seguras o no ante un futuro evento sísmico. Se compararon edificaciones construidas antes del terremoto de 1976 con edificaciones construidas después del terremoto con el fin de determinar si hubo una mejora en la aplicación de criterios de diseño sismorresistentes. Esto se realizó por medio de la comparación de los niveles de Riesgo Sísmico que presentan las edificaciones.

Cuando los edificios presentan un nivel de Riesgo Sísmico alto o muy alto, es cuando se deben realizar evaluaciones más detalladas para determinar que tipo de readecuaciones o mejoras se deben realizar en los mismos para disminuir el Riesgo. Estas evaluaciones, por lo general deben ser llevadas a cabo por profesionales especializados como ingenieros estructurales, geotecnistas y otros con el fin de establecer una readecuación específica para cada edificio según la vulnerabilidad o amenaza que este presente.

Los resultados de la comparación realizada entre edificaciones construidas pre y post terremoto nos muestran que los edificios construidos antes del terremoto presentan una mayor magnitud de daño en más edificios. Esto es debido probablemente a los sistemas estructurales y a los materiales que se usaban antes del terremoto. Varios de los edificios evaluados eran de mampostería no reforzada, otros eran de mampostería de muro ancho, los cuales son materiales y sistemas que se han dejado de usar. Otro factor que influye en los daños, es que antes del terremoto no existían normas ni especificaciones de construcción y la supervisión de la construcción era pobre. Incluso hay edificios que fueron construidos con especificaciones de construcción que en la actualidad ya no se usan o han sido modificadas. También debe tomarse en cuenta que estos edificios han estado sometidos a más eventos sísmicos, incluyendo el terremoto de 1976, y que muchos de los daños sufridos en esos eventos no fueron reparados adecuadamente o en algunos casos, nunca fueron reparados.

Todos estos factores justifican la magnitud y la cantidad de los daños en los edificios construidos antes del terremoto. A pesar de esto, vemos que sólo cinco de los cuarenta y uno edificios evaluados presentan daños severos. Esto significa que en sólo cinco edificios, la magnitud o Grado de Daño fue el que incremento el Riesgo Sísmico en los mismos y por lo tanto no es factor fundamental en la comparación del Riesgo Sísmico entre edificaciones construidas pre y post terremoto.

Al realizar la comparación del Riesgo que presentan los edificios podemos observar una gran diferencia, ya que de un 34% de los edificios construidos antes del terremoto se encuentran en Riesgo Sísmico alto y sólo un 5% de los edificios construidos después del terremoto poseen este nivel de Riesgo.

Como se mencionó anteriormente, ninguno de los edificios presentaba amenaza geotécnica y muy pocos de los edificios habían sido afectados por la magnitud de daño a la hora de determinar el Riesgo Sísmico de los mismos. También se sabe que la amenaza sísmica es un factor constante para la Ciudad de Guatemala y sólo varía según el sistema estructural en la Calificación Básica de Amenaza Sísmica.

Esto nos indica que el factor predominante que afecta a las edificaciones a la hora de Integrar el Riesgo Sísmico es la Vulnerabilidad Estructural que estos tienen. Es decir, los factores que influyen en el Riesgo Sísmico de los edificios evaluados son sus irregularidades en su configuración, del tipo de sistema estructural, y de otros factores (ver factores modificadores del comportamiento sísmico). Otro factor que normalmente influye es el tipo de suelo, pero para este caso, el tipo de perfil de suelo es el mismo para todos los edificios (S2) y no resta ni aumenta valor a la Calificación Final.

El tipo de sistema estructural es un factor que influyó bastante en los edificios construidos después del terremoto ya que se puede ver en la cuadro V-2 que la mayoría de los edificios son de concreto reforzado e incluso hay edificios de mampostería superior (ver cuadro II-2). Estos sistemas estructurales tienen valores más altos de Calificación Básica de Amenaza Estructural en comparación con los edificios de mampostería media, mampostería de muro ancho y mampostería no reforzada que se construyeron antes del terremoto (ver cuadro V-1).

También podemos ver que el código de diseño varía según el sistema estructural y tiene valores más altos para estructuras de concreto reforzado y mampostería superior que para mampostería simple, y para mampostería no reforzada ni siquiera se aplica dicho factor.

Entonces se puede decir que después del terremoto se empezó a construir más con sistemas estructurales que utilizan códigos de diseño más rigurosos y más actualizados por lo que el Riesgo Sísmico en las edificaciones disminuyó.

Al aplicar un código de diseño más riguroso, las estructuras tienen menos irregularidades y menos aspectos constructivos que aumentan su vulnerabilidad. Por lo tanto, se puede ver que los criterios de diseño en efecto han mejorado y que aunque no hay un código oficial de diseño sismorresistente en el país, sí se ha aplicado este tipo de diseño en las edificaciones construidas después del terremoto de 1976.

Cabe decir que si se aplican las normas de diseño recomendadas para la República de Guatemala se va a diseñar considerando las amenazas que existen en el lugar donde se pretende construir y se tendrá un diseño más seguro y acorde al lugar. Sólo usando estas normas se mejorarán los criterios de construcción y se podrán observar resultados satisfactorios.

Por último, se concluye que se comprueba lo que se planteó en la hipótesis a través del desarrollo y resultados obtenidos.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, P; M. Guzmán y H. Hernández. *Seminario sobre criterios básicos para evaluar edificaciones dañadas por sismo*. Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos.
- Bolt. H. y S. Macdonald. 1977. *Geological Hazards*. New York. Springer-Verlag editores.
- Kiremidjian, A. y L. Lubetkin.. 1997. *Seismic Hazard Mapping of Guatemala*. John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.
- Ligorria, J.P; M. Guzmán, H. Bungum y A. Dahle. 1995. <<Seismic Hazard for Guatemala>>. *NORSAR Technical Report*. 2-20.
- Sanders, J. 1981. *Principles of Physical Geology*. New York. John Wiley & Sons.
- Shah, H. *Earthquake Engineering and Seismic Risk Analysis*. John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.
- *Architects and Earthquakes, Prepared for National Science Foundation*. 1975. AIA Research Corporation. New York.
- *Daños por Sismo en Estructuras, Guía para Evaluación*. 1996. Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Mariano Gálvez. Guatemala.
- *Especificaciones Técnicas de Construcción*. 1996. Dirección General de Obras Públicas de Guatemala C.A. Guatemala.
- *Introducción a las Amenazas, Programa de Mantenimiento para el Manejo de Desastres*. 1994. PNUD.
- *Lecturas sobre Población, Vulnerabilidad y Riesgo*. 1999. Centro de Estudios Urbanos y Regionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- *Post Earthquake Investigation Field Guide, Learning from Earthquakes*. 1996. Earthquake Engineering Research Institute, EERI. California.
- *Postearthquake Safety Evaluation of Buildings: Field Manual*. 1989. Applied Technology Council, ATC20-1.

- *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. 1988. Applied Technology Council, ATC 21.
- *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation*. 1988. Applied Technology Council, ATC 21-1.
- *Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings*. 1985. NEHRP.
- *Sismos de América Central, Memorias del 1er Seminario taller sobre Sismicidad de América Central*. CEPREDENAC.
- *The Guatemalan Earthquake of February 4, 1976; A preliminary report*. US Geological Survey.
- <<Reducción de desastre en función social, Riesgo Geológico en Guatemala.>> *Revista Volcán*. 3. Guatemala.
- <<Diagnóstico de la Prevención de Desastres Naturales en Guatemala.>> 1996. Guatemala.
- <<Curso de Especialización en Ingeniería Sismorresistente, Módulo I.>> 1998. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural, AGIES. Guatemala.
- <<Curso UNESCO/RELACIS de Sismorresistencia, Módulos I y II.>> 1997. CESEM/AGIES. Guatemala.
- Documentos y Manuales de la Comisión para la Reducción de Riesgo Sísmico en Edificios del Estado. 2001-2002. Guatemala.
- Mapas Geológicos de la República de Guatemala, Hojas 2059 IG, IIG y IVG. 1977. Guatemala.