



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑO ESTRUCTURAL
OCASIONADO POR SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Jorge Antonio García Perusina

Asesorado por el Ing. Carlos Roberto Guillén Lozano

Guatemala, septiembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑO ESTRUCTURAL
OCASIONADO POR SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JORGE ANTONIO GARCÍA PERUSINA

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ROBERTO GUILLÉN LOZANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Juan Carlos Molina Jiménez |
| VOCAL V | Br. Mario Maldonado Muralles |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza |
| EXAMINADOR | Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez |
| EXAMINADOR | Ing. Armando Fuentes Roca |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑO ESTRUCTURAL OCASIONADO POR SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha agosto de 2012.



Jorge Antonio Garcia Perusina

Guatemala, 03 de agosto de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Apreciable Ingeniero Montenegro:

Por este medio le informo que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante Jorge Antonio García Perusina, con número de carné 2002-12059, titulado **GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑO ESTRUCTURAL OCASIONADO POR SISMOS EN LA REPUBLICA DE GUATEMALA.**

Considero que el trabajo presentado por la estudiante ha sido desarrollado cumpliendo los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de la asesoría, por lo que doy mi aprobación y solicito el trámite correspondiente.

Sin otro particular, me suscribo a usted, respetuosamente.

Carlos Roberto Guillén Lozano
Ingeniero Civil
Col. 1/460

Ing. Carlos Roberto Guillén Lozano
Colegiado No. 1460
Asesor



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
28 de agosto de 2012

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

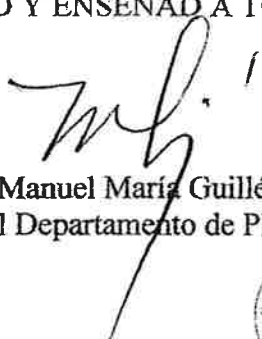
Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑO ESTRUCTURAL, OCASIONADO POR SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jorge Antonio García Perusina, quien contó con la asesoría del Ing. Carlos Roberto Guillén Lozano.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento



UNIVERSIDAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE
PLANEAMIENTO
USAC

/bbdeb.



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Carlos Roberto Guillén Lozano y del Jefe del Departamento de Planeamiento Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Jorge Antonio García Perusina, titulado **GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑO ESTRUCTURAL, OCACIONADO POR SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, Septiembre de 2012.

/bbdeb.



DTG. 445.2011

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **GUÍA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑO ESTRUCTURAL OCASIONADO POR SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Jorge Antonio García Perusina**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 17 de septiembre de 2012

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|---------------------|---|
| Mis padres | Jorge Antonio García Martínez y Flora Concepción Perusina Cifuentes. |
| Mis abuelos | Juan Perusina, Flor de María Cifuentes, Vida Martínez y Roberto Guillén. |
| Mis hermanos | Pablo Gerardo, Marcos Roberto y Alejandra Mercedes García Perusina. |
| Mis tíos | Roxana, Vilma, Mireida, Juana María, Marta, Anna Bella, Juan José, Carla, Héctor, Eduardo y en especial a Mercedes, quien nos acompaña en espíritu. |
| Mis primos | Por ser una importante parte de mi vida. |
| Mi esposa | Dellanira Nohemí Galicia Chávez de García. |

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|---------------------|--|
| Dios Padre | Por darme vida, salud y la luz que necesito para guiar mi vida. |
| Mis padres | Jorge y Flora. Por ser la piedra angular de mi vida. |
| Mis hermanos | Pablo, Marcos y Alejandra. Por siempre estar ahí cuando los necesito, por toda la ayuda y el amor que me han dado. |
| Mis abuelos | Juan, Amapola, Vida y Roberto. Por el apoyo incondicional y el inagotable amor que me han dado. |
| Mi familia | Por ser la familia que amo tanto y marcar mi vida de la manera que lo han hecho. |
| Mi esposa | Delllanira. Por estar siempre a mi lado y darme el apoyo y la fuerza que necesito día a día. Te amo. |
| Mi asesor | Ing. Carlos Roberto Guillén Lozano, por todo lo que me has enseñado desde pequeño. |
| Mis amigos | Por hacer de esta experiencia, la mejor. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | VII |
| GLOSARIO | XI |
| RESUMEN..... | XIII |
| OBJETIVOS..... | XV |
| INTRODUCCIÓN..... | XVII |
| | |
| 1. AMENAZAS NATURALES..... | 1 |
| 1.1. Generalidades..... | 1 |
| 1.1.1. Zonas geológicas y principales fallas en Guatemala | 2 |
| 1.2. Fenómenos sísmicos | 9 |
| 1.2.1. Causas de los sismos..... | 9 |
| 1.2.2. Epicentro e hipocentro..... | 13 |
| 1.2.3. Ondas sísmicas | 14 |
| 1.3. Medición de los sismos..... | 14 |
| 1.3.1. Escalas de los sismos | 15 |
| | |
| 2. PARÁMETROS DE VULNERABILIDAD Y EVALUACIÓN DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS | 21 |
| 2.1. Factores que hacen vulnerable una estructura | 21 |
| 2.1.1. Irregularidades en planta..... | 21 |
| 2.1.1.1. Estructuras con esquinas interiores | 22 |
| 2.1.1.2. Estructuras con fachadas abiertas | 23 |
| 2.1.1.3. Estructuras de marcos con muros de cortante y falsa simetría | 24 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.1.1.4. | Diafragma con aberturas | 25 |
| 2.1.1.5. | Falsa simetría en la distribución de masas | 27 |
| 2.1.2. | Irregularidades en la elevación..... | 27 |
| 2.1.2.1. | Estructuras escalonadas verticalmente | 28 |
| 2.1.2.2. | Estructuras con planta baja abierta o grandes espacios en cualquier piso..... | 29 |
| 2.1.2.3. | Estructuras con columnas de rigidez variable en un mismo nivel..... | 30 |
| 2.1.2.4. | Estructuras con muros de cortante con grandes aberturas | 31 |
| 2.1.2.5. | Estructuras colindantes | 32 |
| 2.2. | Tipos de daños | 33 |
| 2.2.1. | Daños estructurales..... | 34 |
| 2.2.1.1. | Daños menores | 34 |
| 2.2.1.2. | Daños moderados | 35 |
| 2.2.1.3. | Daños mayores o severos..... | 35 |
| 2.2.2. | Daños no estructurales..... | 35 |
| 2.3. | Método de evaluación..... | 36 |
| 2.3.1. | Objetivo..... | 36 |
| 2.3.2. | Conocimientos que deben tener los evaluadores de daños | 37 |
| 2.4. | Procedimiento y criterio para la evaluación..... | 37 |
| 2.4.1. | Evaluación externa de la edificación | 38 |
| 2.4.2. | Evaluación de daños geotécnicos | 39 |
| 2.4.3. | Identificación de los materiales de la estructura | 39 |
| 2.4.4. | Evaluación interna de la edificación | 39 |
| 2.4.5. | Clasificación de daño y colocación de etiquetas..... | 40 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.4.6. | Recomendaciones | 43 |
| 2.4.7. | Esquema | 43 |
| 2.5. | Daños geotécnicos | 49 |
| 2.5.1. | Asentamientos | 51 |
| 2.5.2. | Corrimientos..... | 52 |
| 2.5.3. | Grietas | 54 |
| 2.5.4. | Deslizamientos..... | 55 |
| 2.5.5. | Derrumbes | 58 |
| 2.5.6. | Licuefacción | 59 |
| 2.5.7. | Evaluación de daños | 60 |
| 3. | ESTRUCTURAS DE ADOBE Y MAMPOSTERÍA | 63 |
| 3.1. | Generalidades del adobe..... | 63 |
| 3.2. | Elementos | 63 |
| 3.2.1. | Muros | 64 |
| 3.2.1.1. | Muros de carga..... | 64 |
| 3.2.1.2. | Tabiques interiores | 64 |
| 3.2.1.3. | Paredes aisladas | 64 |
| 3.2.2. | Columnas..... | 64 |
| 3.2.3. | Dinteles (en aberturas, puertas y ventanas) | 65 |
| 3.2.4. | Cimentaciones | 65 |
| 3.2.5. | Elementos principales y secundarios | 65 |
| 3.3. | Sistemas estructurales..... | 65 |
| 3.3.1. | Estructuras tipo cajón | 66 |
| 3.3.2. | Estructura en C | 66 |
| 3.3.3. | Tipos de techo | 66 |
| 3.4. | Descripción de fallas en construcciones de adobe | 67 |
| 3.5. | Evaluación de daños..... | 69 |
| 3.6. | Generalidades de la mampostería..... | 73 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.7. | Elementos | 74 |
| 3.8. | Sistemas estructurales | 76 |
| 3.9 | Descripción de fallas en estructuras de mampostería | 76 |
| 3.10. | Evaluación de daños | 78 |
| 4. | ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO Y PREFABRICADO..... | 83 |
| 4.1. | Generalidades del concreto reforzado | 83 |
| 4.2. | Elementos | 83 |
| 4.2.1. | Columnas..... | 83 |
| 4.2.2. | Vigas | 83 |
| 4.2.3. | Losas | 84 |
| 4.2.4. | Muros | 84 |
| 4.2.5. | Gradas | 84 |
| 4.2.6. | Cimientos..... | 85 |
| 4.3. | Sistemas estructurales | 85 |
| 4.3.1. | Marcos rígidos | 85 |
| 4.3.2. | Marcos rígidos y muros de corte | 86 |
| 4.3.3. | Estructuras tipo cajón | 86 |
| 4.3.4. | Estructuras especiales | 86 |
| 4.4. | Descripción de fallas de concreto reforzado | 87 |
| 4.5. | Evaluación de daños | 91 |
| 4.6. | Generalidades del concreto prefabricado..... | 93 |
| 4.7. | Elementos | 94 |
| 4.7.1. | Columnas..... | 94 |
| 4.7.2. | Muros | 95 |
| 4.7.3. | Paneles de fachada | 96 |
| 4.7.4. | Vigas y viguetas..... | 96 |
| 4.7.5. | Cubiertas y entrepisos | 98 |

| | | | |
|-------|----------|--|-----|
| | 4.7.5.1. | Losas planas..... | 98 |
| | 4.7.5.2. | Losas nervuradas | 98 |
| | 4.7.6. | Gradas | 100 |
| 4.8. | | Sistemas estructurales..... | 100 |
| | 4.8.1. | Marcos | 100 |
| | 4.8.1.1. | Marcos con vigas simplemente apoyadas | 101 |
| | 4.8.1.2. | Marcos rígidos | 101 |
| | 4.8.1.3. | Marcos con muros de corte | 102 |
| | 4.8.2. | Estructuras tipo cajón | 102 |
| | 4.8.2.1. | Estructuras tipo L..... | 103 |
| | 4.8.2.2. | Estructuras tipo C | 104 |
| | 4.8.3. | Sistema <i>Tilt-up</i> (Muros de abatimiento vertical) | 104 |
| 4.9. | | Descripción de fallas en estructuras de concreto prefabricado | 105 |
| 4.10. | | Evaluación de daños | 111 |
| 5. | | ESTRUCTURAS DE ACERO | 115 |
| | 5.1. | Generalidades..... | 115 |
| | 5.2. | Elementos | 116 |
| | 5.2.1. | Columnas..... | 116 |
| | 5.2.2. | Vigas | 116 |
| | 5.2.3. | Arriostres..... | 116 |
| | 5.2.4. | Miembros a tensión | 117 |
| | 5.2.5. | Cables | 117 |
| | 5.3. | Sistemas estructurales..... | 118 |
| | 5.3.1. | Marcos rígidos | 118 |
| | 5.3.2. | Marcos arriostrados | 119 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.3.3. | Marcos con muros de concreto de mampostería..... | 121 |
| 5.3.4. | Armaduras | 122 |
| 5.3.5. | Armaduras tridimensionales | 123 |
| 5.3.6. | Entrepisos..... | 124 |
| 5.3.7. | Techos | 125 |
| 5.3.8. | Gradas | 126 |
| 5.4. | Descripción de fallas en estructuras de acero | 127 |
| 5.5. | Evaluación de daños | 132 |
| 6. | ESTRUCTURAS DE MADERA | 135 |
| 6.1. | Generalidades de estructuras de madera | 135 |
| 6.2. | Sistemas estructurales | 136 |
| 6.2.1. | Vigas y columnas..... | 136 |
| 6.2.2. | Tabiques | 139 |
| 6.2.3. | Entrepisos..... | 140 |
| 6.2.4. | Techos | 142 |
| 6.3. | Uniones..... | 144 |
| 6.4. | Descripción de fallas en estructuras de madera | 147 |
| 6.5. | Evaluación de daños | 151 |
| | CONCLUSIONES..... | 153 |
| | RECOMENDACIONES | 155 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 157 |
| | APÉNDICES | 161 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Geología del Valle del Motagua | 4 |
| 2. | Fallas en los límites de las placas..... | 5 |
| 3. | Distribución de intensidades del terremoto del 4 de febrero de 1976..... | 5 |
| 4. | Modelo de placas tectónicas | 10 |
| 5. | Mapa de placas tectónicas del mundo..... | 11 |
| 6. | Mapa sísmico del mundo con epicentros de sismos de grandes magnitudes | 12 |
| 7. | Conjunto de placas tectónica y sismicidad en Centro América | 12 |
| 8. | Focos en zona de subducción..... | 13 |
| 9. | Ejemplos de plantas de edificaciones con esquinas internas..... | 22 |
| 10. | Estructura con lado abierto (débil) | 23 |
| 11. | Estructura con dos lados abiertos (débiles) contiguos..... | 24 |
| 12. | Edificación con falsa simetría, debido a un núcleo de muros de cortante..... | 25 |
| 13. | Abertura con forma y ubicación simétrica en un diafragma horizontal | 26 |
| 14. | Abertura con forma simétrica y ubicación asimétrica en un diafragma horizontal | 26 |
| 15. | Masas colocadas asimétricamente provocando excentricidad en la estructura..... | 27 |
| 16. | Estructuras con cambios bruscos en elevación | 28 |
| 17. | Edificación con menor número de columnas en el primer nivel..... | 29 |
| 18. | Edificación con columnas más largas en el primer nivel. | 30 |

| | | |
|-----|---|----|
| 19. | Edificio construido en una ladera con columnas de diferente altura en el primer nivel | 31 |
| 20. | Edificio con aberturas de diferente tamaño en el muro de corte | 32 |
| 21. | Estructuras adyacentes | 33 |
| 22. | Evaluación de daños por sismo en estructuras | 44 |
| 23. | Esquemas de tipos de falla del suelo | 50 |
| 24. | Esquemas de tipos de falla del suelo | 50 |
| 25. | Asentamiento diferencial | 51 |
| 26. | Daño provocado en una vivienda por el asentamiento del suelo. | 52 |
| 27. | Corrimiento de tierra en Nueva Zelanda. La costa sur oeste fue desplazada 0,30 metros | 52 |
| 28. | Daño producido en línea férrea por corrimiento | 53 |
| 29. | Destrucción de línea férrea en toda Guatemala por el terremoto de 1976. Foto de zona 1 capitalina, barrio Gerona..... | 53 |
| 30. | Desplazamiento notorio de la costa japonesa por terremoto del 2011 | 54 |
| 31. | Grieta a lo largo de una llanura en la provincia de Venezuela | 54 |
| 32. | Imagen de problemática sucedida en Mixco por falla sísmica, grieta transversal a la calle..... | 55 |
| 33. | Esquema de un deslizamiento | 56 |
| 34. | Deslizamiento de una ladera | 56 |
| 35. | Deslizamiento de una colina y destrucción total de la carretera..... | 57 |
| 36. | Deslizamiento de un cerro sobre un caserío en una provincia de Venezuela | 57 |
| 37. | Carretera bloqueada por derrumbe en ruta interamericana | 58 |
| 38. | Esquema del proceso de licuefacción..... | 59 |
| 39. | Construcción volcada debido a licuefacción | 59 |
| 40. | Zona de edificaciones afectada por licuefacción | 60 |
| 41. | Descripción de fallas en construcciones de adobe | 67 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 42. | Construcción típica de adobe | 69 |
| 43. | Descripción de fallas en construcciones de mampostería..... | 77 |
| 44. | Descripción de fallas en construcciones de concreto reforzado..... | 87 |
| 45. | Columnas de concreto prefabricado | 95 |
| 46. | Vigas de concreto prefabricado. Rectangular (a), I (b), L (c), T (d) y T invertida (e) | 97 |
| 47. | Losa plana | 98 |
| 48. | Viguetas. Doble T (a), T simple (b), T invertida (c) y L (d)..... | 99 |
| 49. | Losa nervurada..... | 99 |
| 50. | Marcos | 101 |
| 51. | Estructura tipo cajón..... | 103 |
| 52. | Estructura tipo L..... | 103 |
| 53. | Estructura tipo C | 104 |
| 54. | Sistema <i>Tilt-up</i> | 105 |
| 55. | Inspección de puntos de falla en estructuras de concreto prefabricado | 106 |
| 56. | Descripción de fallas en construcciones de concreto prefabricado.... | 107 |
| 57. | Perfiles estructurales producidos por fabricantes | 115 |
| 58. | Esquema de cable y torón..... | 117 |
| 59. | Diversos marcos usados en las estructuras de acero para edificios.. | 119 |
| 60. | Configuraciones típicas de sistemas de arriostres concéntricos | 120 |
| 61. | Esquema de marco rígido arriostrado por tensores..... | 121 |
| 62. | Esquema de marcos con muros de concreto o muros de mampostería | 122 |
| 63. | Tipos de armaduras..... | 123 |
| 64. | Esquema de armadura tridimensional y de nudo..... | 124 |
| 65. | Esquema de entrepiso de acero | 125 |
| 66. | Esquema de cubiertas o techos | 126 |
| 67. | Esquema de gradas de estructura metálica..... | 127 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 68. | Descripción de fallas en construcciones de acero | 127 |
| 69. | Detalle de estructuras con columnas hincadas en el suelo | 137 |
| 70. | Detalle de columnas, vigas y cimientos | 138 |
| 71. | Sistema de columnas y vigas con arriostramiento | 138 |
| 72. | Estructura de tabique | 139 |
| 73. | Detalle de tabique con forro sobre un lado | 140 |
| 74. | Arriostramiento y forro con duela de madera..... | 141 |
| 75. | Sistema de entrepiso..... | 141 |
| 76. | Estructuras de techo..... | 142 |
| 77. | Estructuras de techo..... | 143 |
| 78. | Detalle típico de cubierta de techo de madera..... | 143 |
| 79. | Detalle típico de una unión simple en ángulo con clavos | 144 |
| 80. | Uniones entre columna y cimiento | 145 |
| 81. | Uniones entre vigas | 145 |
| 82. | Detalle típico de unión con pernos entre elementos de madera en una armadura..... | 146 |
| 83. | Uniones entre vigas y columnas | 146 |
| 84. | Descripción de fallas en construcciones de madera..... | 147 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I. | Distribución geográfica de las máximas intensidades sísmicas en Guatemala..... | 7 |
| II. | Máxima intensidad sísmica y probabilidad de ocurrencia de un terremoto de gran escala en Guatemala, en el período comprendido del 2012 al 2031 | 8 |
| III. | Magnitud asignada a energía liberada en un sismo | 19 |
| IV. | Magnitud asignada a energía liberada en un sismo | 40 |
| V. | Clasificación y etiquetación de estructuras según daño..... | 41 |

GLOSARIO

| | |
|--------------------|--|
| Arcilla | Roca sedimentaria clásica poco consolidada, constituida por partículas de tamaño menor a 0,001 milímetro. |
| Arista | Son las líneas o segmentos que unen los vértices consecutivos de los polígonos. |
| Colapso | Disminución de la resistencia de una estructura o elemento estructural, por condiciones externas o internas, provocando la incapacidad de su función, pérdida de estabilidad y destrucción. |
| Cortante | Conjunto de fuerzas internas desarrolladas por un cuerpo, en respuesta a fuerzas tangenciales a la superficie sobre la cual actúan. |
| Estructura | Una estructura es un cuerpo o conjunto de cuerpos en el espacio para formar un sistema capaz de soportar cargas. |
| Mampostería | Sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos, para diversos fines, mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos). |

| | |
|----------------|--|
| Rigidez | Es la capacidad de un objeto sólido o elemento estructural, para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos. |
| Tefra | Fragmento sólido de material volcánico expulsado a través de la columna eruptiva, arrojado al aire durante una erupción volcánica. |
| Talud | Es una zona plana inclinada. Es la pendiente de un muro, la que es más gruesa en el fondo que en la parte superior de éste, de modo que así resista la presión de la tierra tras él. |

RESUMEN

Las metodologías sistemáticas de evaluación estructural postsismo, comenzaron a desarrollarse hace 32 años, después del terremoto de Irpinia, 1980 en el sur de Italia. En esa oportunidad se realizó la evaluación estructural a todos los edificios de 41 municipalidades. En los siguientes años se realizaron diversas evaluaciones estructurales, después de varios terremotos, usando distintos formularios. Así se puede notar que el terremoto que marco un antes y un después en Guatemala, fue afrontado de la mejor manera posible por los ingenieros de esa época, con las herramientas y limitaciones del caso.

Se hicieron estudios y reportes por parte de instituciones nacionales privadas, gubernamentales e incluso por el Gobierno de los EEUU. Estos estudios tomaron meses en el caso del reporte del Gobierno de EEUU y años en el caso de instituciones nacionales.

El gremio de ingenieros civiles guatemaltecos afrontaba la problemática de un país prácticamente destruido, con toda la experiencia y sapiencia adquirida a través de los años, pero sin un método estandarizado de evaluación de daño estructural; con lo cual el período de reconstrucción del país se prolongó, al estancarse el proceso primario de evaluación de daños.

Este documento presenta una opción sumamente viable de estandarización del método de evaluación de daño estructural en la República de Guatemala; dando las herramientas necesarias para la evaluación, determinación y categorización de las estructuras afectadas por un sismo.

Con un marco teórico sumamente completo en cuanto a los términos y procesos naturales ocurridos durante un sismo, los diversos materiales utilizados en el interior del país y en las ciudades de la República de Guatemala, las fallas que dichos materiales pueden presentar por los esfuerzos a los cuales son sometidos durante un sismo y propone un método de documentación viable para poder evaluar estructuras afectadas por las fuerzas inerciales ocurridas durante un sismo. Con un método de evaluación que integra el tipo de estructura, los materiales empleados en esta, los daños sufridos y un sistema de etiquetas propuesto para la categorización de la edificación, todo basado en una inspección visual tanto externa como interna en cada edificación a evaluar.

Con este documento no se pretende abarcar la totalidad de los casos que se pueden presentar luego de un sismo, es una herramienta que cada ingeniero civil en Guatemala podrá emplear en un principio, cuando la situación es más crítica, una guía para encausar los conocimientos adquiridos durante los años de estudio y práctica laboral hacia un camino de soluciones basadas en una buena evaluación preliminar.

De esta manera se deja abierta la posibilidad de futuros desarrollos de documentos, con el fin de ampliarlo y complementarlo.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una guía estandarizada de evaluación de daño estructural ocasionado por sismos en la República de Guatemala, que brinde la ayuda y el enfoque necesario en situaciones críticas postsismos.

Específicos

1. Aprender de las amenazas naturales y sus resultados, específicamente de los fenómenos sísmicos y todo lo relacionado a ellos.
2. Determinar parámetros de vulnerabilidad y daños en estructuras, así como los factores relacionados y los tipos de daños.
3. Desarrollar un método de evaluación de daños en estructuras, dependiendo del material de dichas estructuras.
4. Desarrollar la habilidad de categorizar una estructura afectada por un sismo y etiquetarla según sea el resultado de la evaluación

INTRODUCCIÓN

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

La preocupación de vivir en una zona de alto riesgo sísmico obliga a tratar de conocer bien el fenómeno y prepararse para afrontar la situación de la mejor manera. Entre los aspectos que esta problemática abarca, está evaluar las edificaciones para determinar el grado de seguridad que pueden brindar, para su utilización después de un terremoto.

Para su desarrollo se presenta la primera parte, en los capítulos 1 y 2, en la que se encuentra información general sobre el tema y metodología recomendada para la evaluación de las edificaciones y los lineamientos para el reconocimiento de daños geotécnicos; luego se presenta la segunda parte con las indicaciones pertinentes para la evaluación de estructuras según el material que estén construidas en los capítulos del 3 al 6.

1. AMENAZAS NATURALES

1.1. Generalidades

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

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

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

Las amenazas producidas por los fenómenos volcánicos incluyen tefra (lanzamiento de cenizas), gases tóxicos, flujo de lava y fangos, explosiones y flujos piroplásticos. Los fenómenos volcánicos se derivan de dos clases de

erupciones: las explosivas, que se originan por la rápida disolución y expansión del gas desprendido por las rocas fundidas y que imponen una amenaza al desparramar bloques y fragmentos de roca y lava; y las erupciones efusivas, cuya mayor amenaza es el flujo de materiales de diversa naturaleza (fango, ceniza, lava) y cuya acción está determinada por la gravedad, topografía y viscosidad del material.

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

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

1.1.1. Zonas geológicas y principales fallas en Guatemala

Guatemala está ubicada en una zona considerada altamente sísmica, debido a que está siendo deformada por desplazamientos relativos de las placas del Caribe, Norteamérica y de Cocos.

El desplazamiento de la placa del Caribe y la de Norteamérica, es una de las principales fuentes de sismicidad en el país, de igual manera lo es, en el área del pacífico, el desplazamiento de la corteza oceánica del pacífico y el área continental que forman la fosa mesoamericana, paralela a la costa.

Debido a lo anterior, Guatemala tiene en su historia una gran cantidad de eventos sísmicos de gran magnitud y frecuencia, así como actividad volcánica.

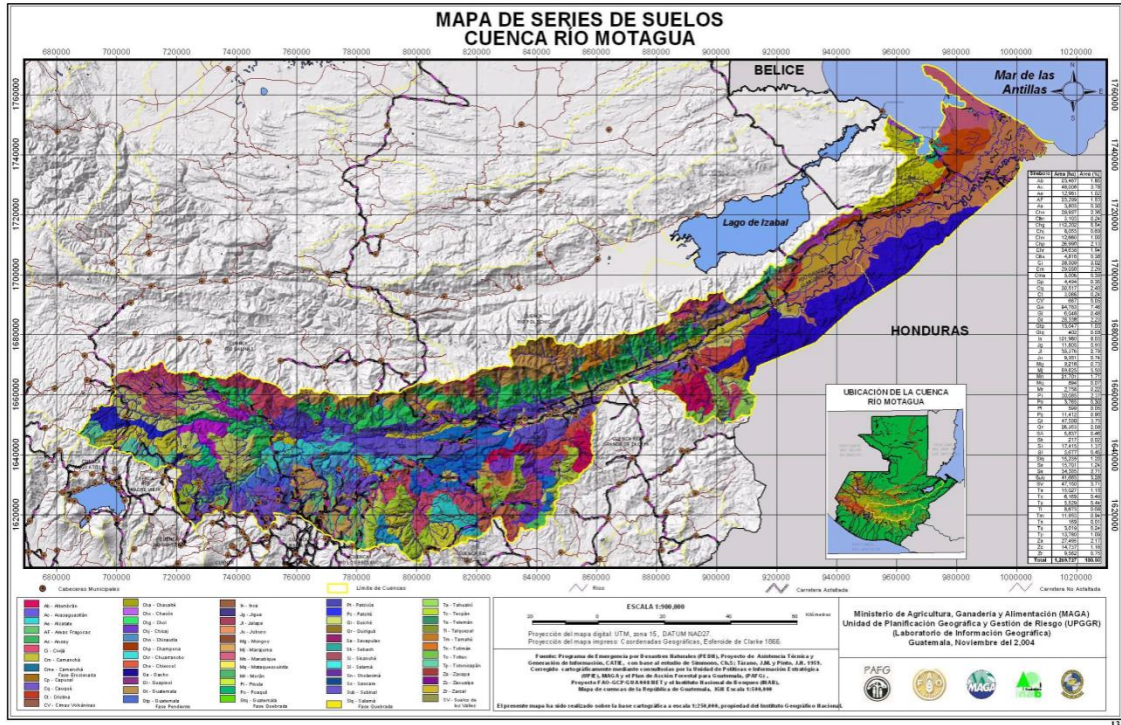
Una falla activa importante, es la falla del Motagua, con desplazamiento lateral izquierdo, que presentó ruptura durante el terremoto del 4 de febrero de 1976. Otra falla activa importante es Chixoy-Polochic, con aspectos similares a la falla del Motagua. Ambas fallas comprenden el límite entre las placas del Caribe y de América del Norte. En el límite de las placas de Cocos y del Caribe existe otra falla debido al movimiento de subducción entre ellas.

Actualmente existen varios mapas que presentan información geológica, incluyendo tipos de suelo, con ubicación de las fallas principales y secundarias conocidas, tal como el elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

También se cuenta con planos donde se indica la distribución de intensidades e isosistas del terremoto del 4 de febrero de 1976 que dan una clara idea de la distribución de intensidades en áreas cercanas a las fallas donde se produjo el sismo.

A continuación se presenta la figura 1, donde se muestra el tipo de suelo en la región del Motagua. En la figura 2 se observan las fallas principales y secundarias conocidas entre las placas de Norte América, Caribe y Cocos, en Guatemala. La figura 3 muestra la distribución de intensidades del terremoto del 4 de febrero de 1976.

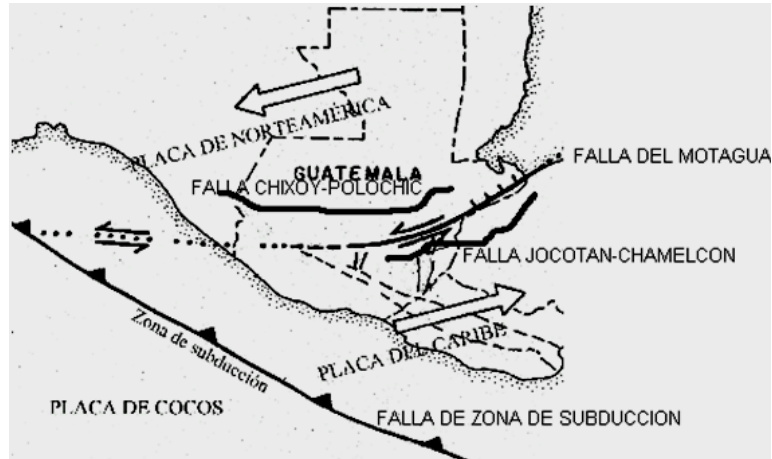
Figura 1. Geología del Valle del Motagua



-  Aluviones Cuaternarios
-  Pérmico
-  Terciario Superior Oligoceno Plioceno
-  Carbonífero Pérmico
-  Terciario Superior Oligoceno Mioceno
-  Cuaternario
-  Paleoceno Eoceno
-  Cuaternario
-  Cretácico Eoceno
-  Terciario
-  Cretácico Terciario
-  Rocas Plutónicas
-  Cretácico
-  Rocas Ultra básicas
-  Jurásico Cretácico
-  Paleozoico

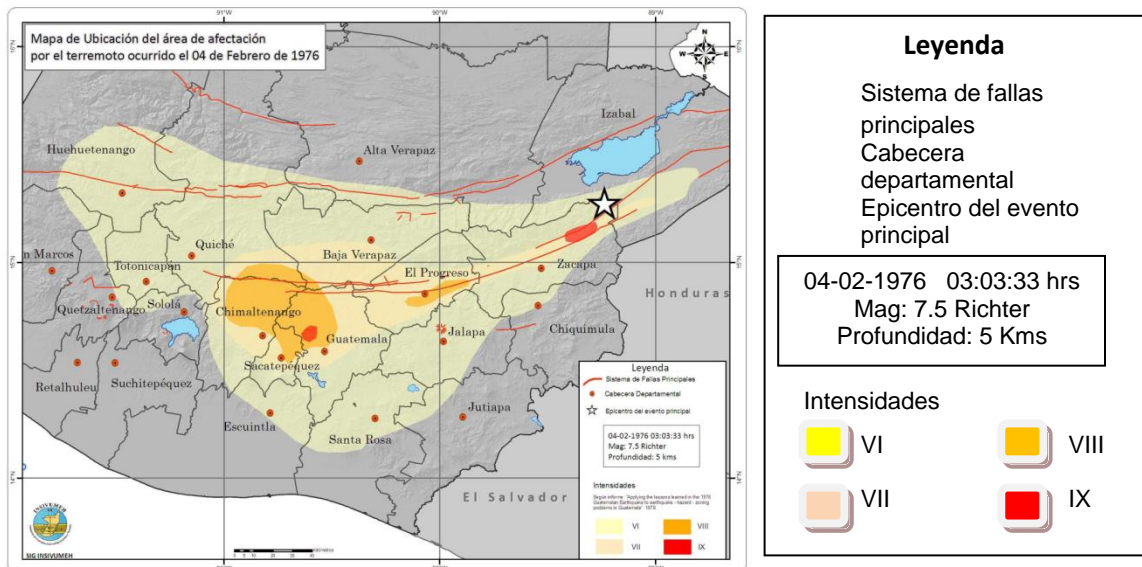
Fuente: <http://www2.maga.gov.gt/fotos.html>. Consulta: enero 2012.

Figura 2. Fallas en los límites de las placas



Fuente: imágenes de google, mapa de placas de Centro América. Consulta: mayo 2012.

Figura 3. Distribución de intensidades del terremoto del 4 de febrero de 1976



Fuente: imágenes de google, terremoto de Guatemala 1976. Consulta: mayo 2012.

En Guatemala han ocurrido numerosos terremotos destructores, pero no se han obtenido registros significativos de movimientos fuertes. El más destructor desde 1917, ocurrió el 4 de febrero de 1976. No se obtuvo ningún registro acelerográfico de este importante evento, terremoto de 7,5 grados en la escala de Richter, ya que el escaso equipo existente falló al momento de querer realizar los registros del fenómeno.

Un continuado refinamiento de la localización de los terremotos ocurridos en el pasado, la identificación de las fallas activas y estudios geológicos y sismológicos detallados en estas fallas, proporcionan una información más precisa con relación a las fuentes e intervalos de ocurrencia de terremotos destructivos.

Con base a la historia sísmica del país, se presentan las tablas I y II, en las cuales se expresa la probabilidad de que ocurra un evento de intensidad definida en cada departamento.

Tabla I. **Distribución geográfica de las máximas intensidades sísmicas en Guatemala**

| <u>DEPARTAMENTO</u> | <u>MÁXIMA INTENSIDAD SÍSMICA*</u> | | | | |
|----------------------------|--|------------|-------------|-----------|----------|
| | VI | VII | VIII | IX | X |
| ALTA VERAPAZ | X | X | X | | |
| BAJA VERAPAZ | | X | X | | |
| CHIMALTENANGO | | X | X | | |
| CHIQUIMULA | | X | X | | |
| EL PETÉN | X | | | | |
| EL PROGRESO | | X | X | X | |
| EL QUICHÉ | X | X | X | | |
| ESCUINTLA | | X | X | | |
| GUATEMALA | | | X | X | X |
| HUEHUETENANGO | | | X | X | X |
| IZABAL | | X | X | | |
| JALAPA | X | X | | | |
| JUTIAPA | | X | X | | |
| QUETZALTENANGO | | | X | X | X |
| RETALHULEU | | | X | X | |
| SACATEPÉQUEZ | | | X | | |
| SAN MARCOS | | | | X | X |
| SANTA ROSA | | | X | X | X |
| SOLOLÁ | | X | X | | |
| SUCHITEPÉQUEZ | | X | X | | |
| TOTONICAPÁN | | | X | X | |
| ZACAPA | | X | X | | |

*Escala de intensidad de Mercalli Modificada.

Fuente: Colegio de Ingenieros de Guatemala, Memorias del simposio sobre el terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción, tomo 1, p. 72.

Tabla II. **Máxima intensidad sísmica y probabilidad de ocurrencia de un terremoto de gran escala en Guatemala, en el período comprendido del 2012 al 2031**

| <u>DEPARTAMENTO</u> | <u>MÁXIMA INTENSIDAD</u> <u>SÍSMICA PROBABLE</u> | <u>PROBABILIDAD</u> <u>OCURRENCIA (%)</u> |
|---------------------|---|--|
| ALTA VERAPAZ | VIII | (15) |
| BAJA VERAPAZ | VIII | (15) |
| CHIMALTENANGO | VIII | 50 |
| CHIQUMULA | VIII | 79 |
| EL PROGRESO | VIII | 79 |
| ESCUINTLA | VIII | 50 |
| GUATEMALA | X | 50-79 |
| HUEHUETENANGO ESTE | X | (15) |
| HUEHUETENANGO OESTE | X | 34 |
| IZABAL ESTE | VIII | 31 |
| IZABAL OESTE | VIII | (15) |
| JALAPA | VII | 79 |
| JUTIAPA | VIII | 79 |
| QUETZALTENANGO | IX | 34 |
| QUICHÉ | VIII | (15) |
| RETALHULEU | VIII | 34 |
| SACATEPÉQUEZ | VIII | 50 |
| SAN MARCOS | IX | 34 |
| SANTA ROSA | IX | 50-79 |
| SOLOLÁ | VIII | 50 |
| SUCHITEPÉQUEZ | VIII | 50 |
| TOTONICAPÁN | VIII | 50 |
| ZACAPA | VIII | (15) |

Nota: Los porcentajes entre paréntesis representan datos menos confiables.

Fuente: Colegio de Ingenieros de Guatemala, Memorias del simposio sobre el terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción, tomo 2, p. 72.

1.2. Fenómenos sísmicos

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

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

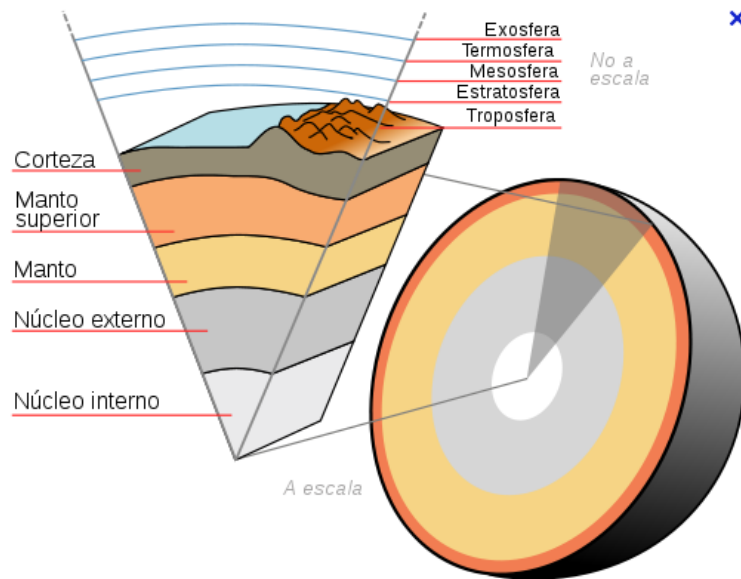
Las dispersiones laterales y la licuefacción, son producidas por la saturación de los suelos poco consolidados, en combinación con una vibración del suelo. Aún con topografías suaves, pueden llegar a producirse a grandes distancias del origen de un sismo.

1.2.1. Causas de los sismos

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

Las placas tectónicas duras (litósfera), se asientan en una relativamente suave (astenósfera), y se mueven como cuerpos rígidos (ver figura 4).

Figura 4. **Modelo de placas tectónicas**



Fuente: imágenes de google, placas tectónicas. Consulta: mayo 2012.

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

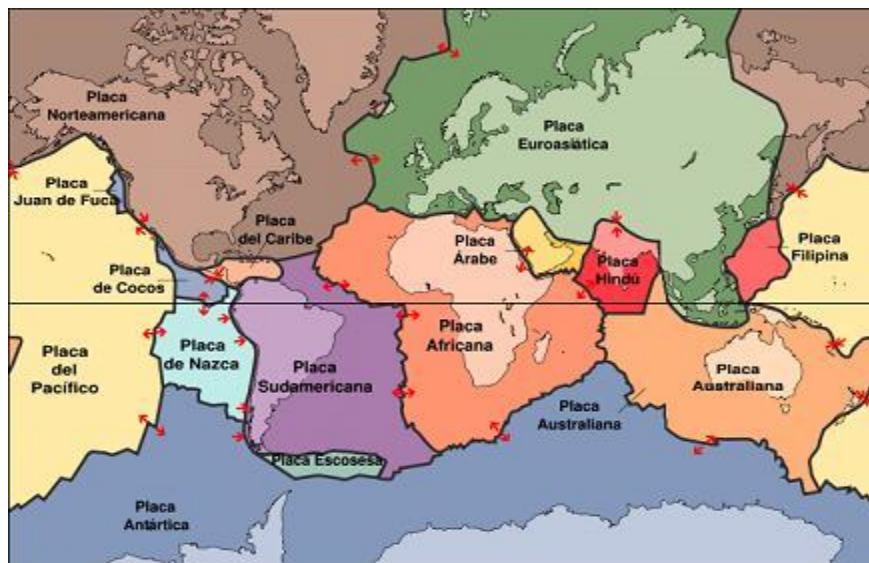
Otro límite de las placas son los denominados arcos de islas (figura 8), que son una cadena de islas, formando un arco cercano a la unión de dos placas. Un arco de islas presenta un alto potencial de sismicidad e incluye uno o varios volcanes a lo largo de su eje.

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

Los límites de las diferentes placas tectónicas de la corteza terrestre, así como las zonas de subducción y de diseminación se ven ilustradas en la figura 5. Los sismos con grandes magnitudes ocurridos en el presente siglo, se han localizado en los alrededores de las zonas de contacto entre placas, según se aprecia en la figura 6.

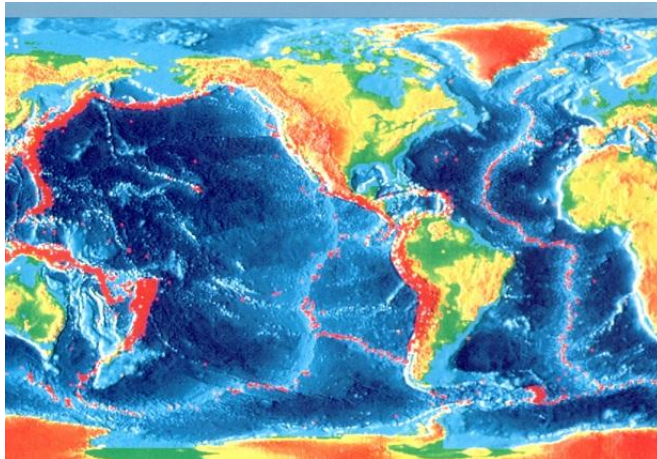
En la figura 7 se ilustra un esquema de las placas tectónicas, la dirección del movimiento relativo entre ellas y la sismicidad en las áreas de contacto de placas, para la región de Centroamérica y el Caribe.

Figura 5. **Mapa de placas tectónicas del mundo**



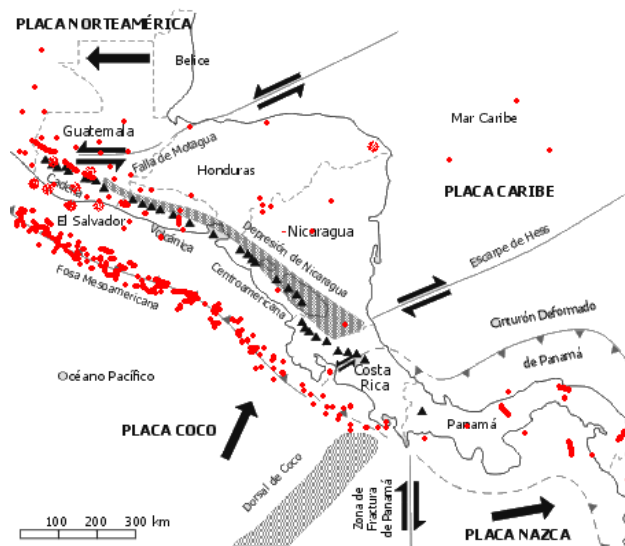
Fuente: imágenes de google, mapa de placas tectónicas. Consulta: mayo 2012.

Figura 6. **Mapa sísmico del mundo con epicentros de sismos de grandes magnitudes**



Fuente: imágenes de google, mapa sísmico mundial. Consulta: mayo 2012.

Figura 7. **Conjunto de placas tectónicas y sismicidad en Centro América**



Fuente: imágenes de google, mapa sísmico de Centro América. Consulta: mayo 2012.

1.2.2. Epicentro e hipocentro

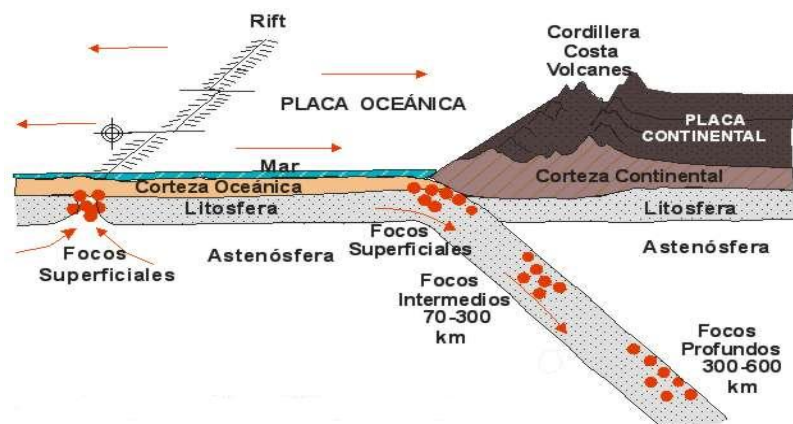
El punto de origen de un sismo, donde se inicia la ruptura y donde se originan las ondas sísmicas, es el hipocentro; se le conoce también como foco o centro.

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

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

Dependiendo de la profundidad del foco, los sismos se clasifican como poco profundos (menos de 70 kilómetros), intermedios (de 70 a 300 kilómetros.) y profundos (de 300 kilómetros en adelante). Ver figura 8.

Figura 8. Focos en zona de subducción



Fuente: imágenes de google, subducción, mayo 2012.

1.2.3. Ondas sísmicas

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

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

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

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

1.3. Medición de los sismos

El riesgo de un sismo intenso consta de dos componentes horizontales: norte-sur y este-oeste, y una componente vertical.

La forma y tamaño de una onda sísmica, depende no solo del mecanismo del temblor, sino también de la geología, la trayectoria de propagación, las condiciones locales y otros factores.

La experiencia muestra que la amplitud de la onda se ve modificada por las características del subsuelo, que a su vez tiene un período de vibración, el cual puede afectar en mayor grado a estructuras con períodos de vibración similares, debido a la posibilidad de entrar en resonancia. Las características de las ondas y la vibración del suelo, se pueden determinar mediante el uso de equipo especiales, entre los cuales están el sismógrafo y el acelerógrafo.

El principio en el cual se basa el sismógrafo, es que el movimiento del terreno se mide por el registro de vibraciones de un péndulo simple suspendido de un punto fijo. Los sismógrafos pueden ser de desplazamiento, velocidad y de aceleración.

El acelerógrafo cuenta con un registrador de movimientos, que normalmente está en reposo con el suelo, hasta que la aceleración del terreno excede un valor preestablecido, con lo cual se activa el medidor y se obtiene el registro del sismo.

1.3.1. Escalas de los sismos

Para dimensionar los sismos se utilizan los conceptos de intensidad y magnitud.

La intensidad de un sismo indica la violencia del movimiento terrestre; la escala de intensidad, se basa en los efectos observados en personas u objetos

inanimados. La intensidad de un sismo varía según el tipo de terreno, distancia al epicentro y el tipo de construcción en el área.

La magnitud de un sismo se refiere a la energía total liberada en la fuente de la perturbación sísmica. Para cada sismo solo hay una magnitud.

Actualmente las escalas más empleadas son la de Mercalli Modificada (MM), que se basa en la intensidad de los mismos; y la de Richter que se basa en la magnitud del sismo.

La escala de Mercalli Modificada se denomina así, por haber sido originalmente planteada por Mercalli y después modificada por Harry O. Wood y Frank Newman. Los grados de intensidad se representan por los números romanos de I a XII, que se asignan de la siguiente forma:

- Grado I: sismo detectado solo por instrumentos o por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
- Grado II: sismo sentido por muy pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios.
- Grado III: sismo sentido claramente dentro de un edificio, especialmente en los pisos altos; muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un vehículo pesado. Duración estimable.
- Grado IV: sismo sentido durante el día por muchas personas en los interiores y por pocas personas en exteriores. Por la noche algunas

despiertan. Vibración en vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un vehículo pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.

- Grado V: sismo sentido casi por todos; muchos despiertan. Algunas piezas de vajillas, vidrios de ventanas, etc. se rompen. Pocos casos de agrietamiento de recubrimiento; objetos altos. Detención de relojes de péndulo.
- Grado VI: sismo sentido por todos; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio. Pocos ejemplos de caída de recubrimiento o daño en chimeneas. Daños ligeros.
- Grado VII: sismo advertido por todos. La gente huye hacia el exterior. Daño moderado sin importancia en estructuras de buen diseño y construcción, daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas, daños considerables en las débiles y mal planeadas; ruptura de algunas chimeneas. Apreciado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
- Grado VIII: daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; daños considerables en edificios ordinarios con derrumbe parcial; daños grandes en estructuras débilmente construidas. Los muros se salen de sus marcos. Caída de chimeneas, de productos apilados en los almacenes, de columnas, monumentos y de muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos de motor.

- Grado IX: daño considerable en estructuras de buen diseño; los marcos de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen. Pánico general.
- Grado X: destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y marcos se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
- Grado XI: casi ninguna estructura de mampostería queda de pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terrenos suaves. Gran torsión de vías férreas.
- Grado XII: destrucción total, ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel. Objetos lanzados al aire hacia arriba. Catástrofe.

La escala de Richter indica la magnitud del sismo; es instrumental, basada en amplitudes máximas medidas; es una escala abierta, lo que significa que no tiene límites en sus medidas (el sismo más grande que se ha registrado con esta escala es el terremoto de Alaska en 1975, con magnitud de 9,1 grados Richter).

Los grados de magnitud, se asignan dependiendo de la cantidad de energía liberada, medida en millones de ergios, como se muestra en la tabla III:

Tabla III. **Magnitud asignada a energía liberada en un sismo**

| Magnitud | Energía liberada (ergios) | Equivalencia |
|----------|---------------------------|--|
| 1 | $2,0 \times 10^8$ | |
| 2 | $6,0 \times 10^9$ | |
| 3 | $2,0 \times 10^{11}$ | Los sismos más pequeños comúnmente sentidos. |
| 4 | $6,0 \times 10^{12}$ | Ondas sísmicas provocadas por 100 toneladas de explosivos. |
| 5 | $2,0 \times 10^{14}$ | Terremoto de Pochuta en 1991 de magnitud 5,3 |
| 6 | $6,0 \times 10^{15}$ | |
| 7 | $2,0 \times 10^{17}$ | Terremoto de Guatemala en 1976, magnitud 7,5 |
| 8 | $6,0 \times 10^{18}$ | Terremoto de Guatemala en 1942, magnitud 8,3 |
| 9 | $2,0 \times 10^{20}$ | Terremoto de Alaska en 1975 de magnitud 9,1 |

Fuente: elaboración propia.

2. PARÁMETROS DE VULNERABILIDAD Y EVALUACIÓN DE DAÑOS EN ESTRUCTURAS

2.1. Factores que hacen vulnerable una estructura

La resistencia de las estructuras sujetas a sismos, está influida por su diseño arquitectónico y su configuración, es decir; el tamaño, naturaleza y localización de sus elementos resistentes y de aquellos no estructurales que afectaran directamente su respuesta ante un sismo.

Diseños asimétricos o con discontinuidad de rigidez, tanto en planta como en elevación, pueden hacer que la estructura se comporte de un modo inadecuado, ocasionando fallas e incremento de la vulnerabilidad de esas edificaciones. A continuación se presentan algunas de las configuraciones más comunes con relación a las irregularidades mencionadas anteriormente.

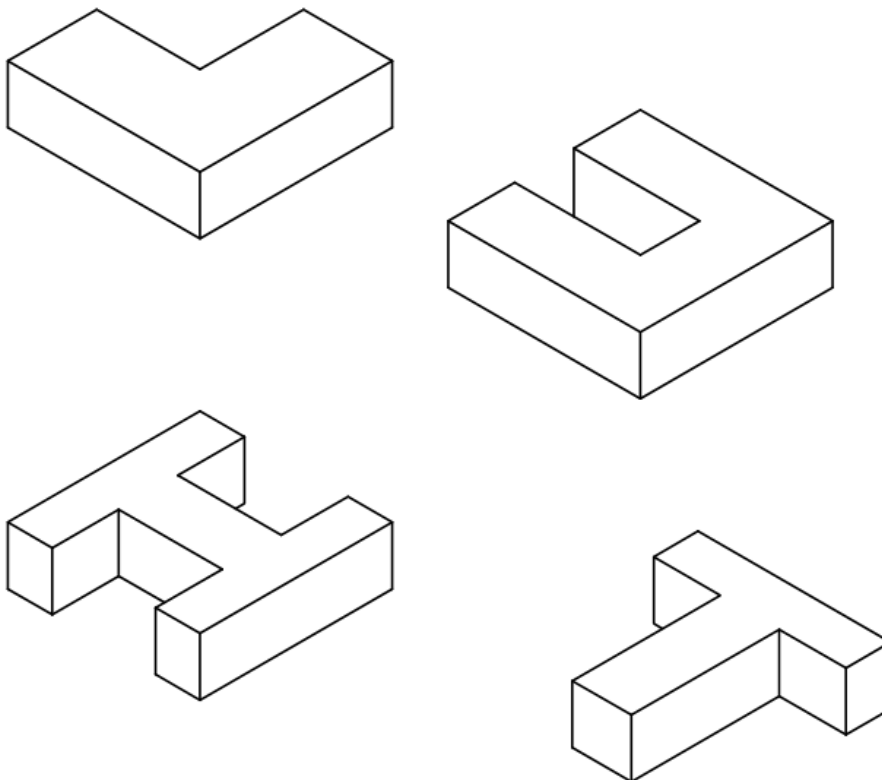
2.1.1. Irregularidades en planta

Las irregularidades de una construcción, son determinantes en el comportamiento de la misma al momento de un sismo, debido a que las fuerzas inerciales están en función de la forma, peso y dimensiones de la estructura, las irregularidades en planta son un factor primordial y se pueden dividir de la siguiente manera:

2.1.1.1. Estructuras con esquinas interiores

Edificios con planta en forma de L, C, H, T o una combinación de estas (ver figura 9), plantean dos problemas: tienden a producir variaciones de rigidez, provocando concentración local de esfuerzos en la esquina entrante; y, al mismo tiempo, provocan torsión al no coincidir el centro de masa de la edificación con el centro de rigidez. Los daños se producen generalmente en las proximidades de la arista interior (unión de las alas).

Figura 9. Ejemplos de plantas de edificaciones con esquinas internas



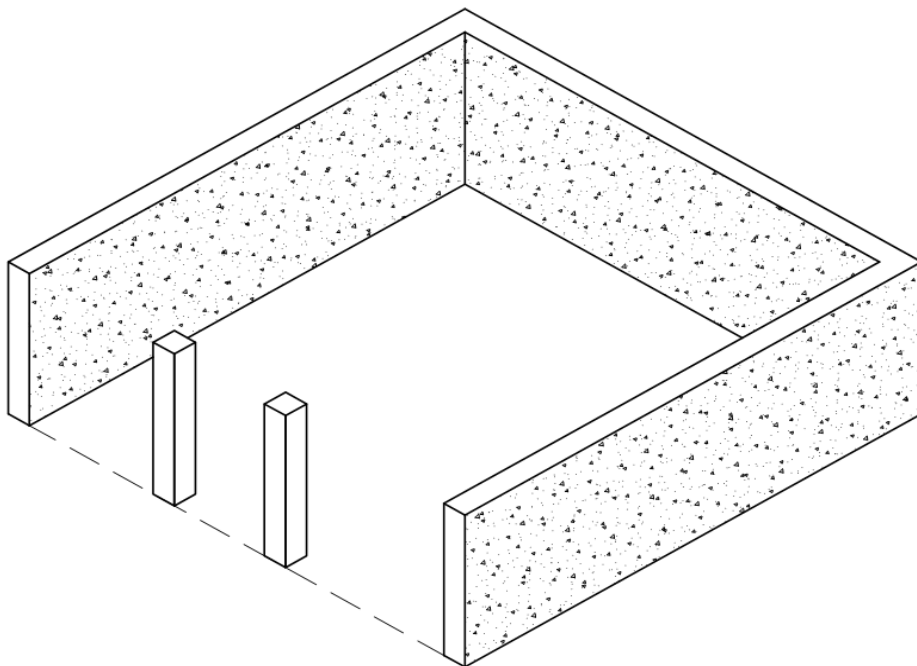
Fuente: elaboración propia.

2.1.1.2. Estructuras con fachadas abiertas

Estas construcciones son usuales en almacenes, bodegas y estaciones de bomberos. La variación de resistencia y rigidez en el perímetro, produce torsión y la estructura tiende a rotar, con posibilidad de causar daños en la parte débil de la estructura.

La figura 10 muestra una estructura con muros en tres de los cuatro lados y columnas (espacio libre y/o ventanerías) en el lado restante, las cuales posiblemente serán castigadas en mayor grado por un sismo, por lo que se recomienda observarlas.

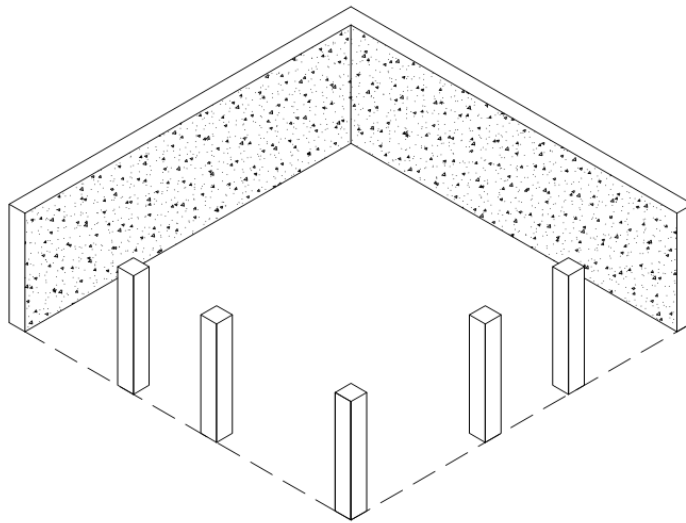
Figura 10. Estructura con lado abierto (débil)



Fuente: elaboración propia.

La figura 11 muestra una estructura con muros en dos lados contiguos y los otros dos con columnas (espacio libre y/o ventanerías), por lo que también es recomendable observarlos.

Figura 11. **Estructura con dos lados abiertos (débiles) contiguos**

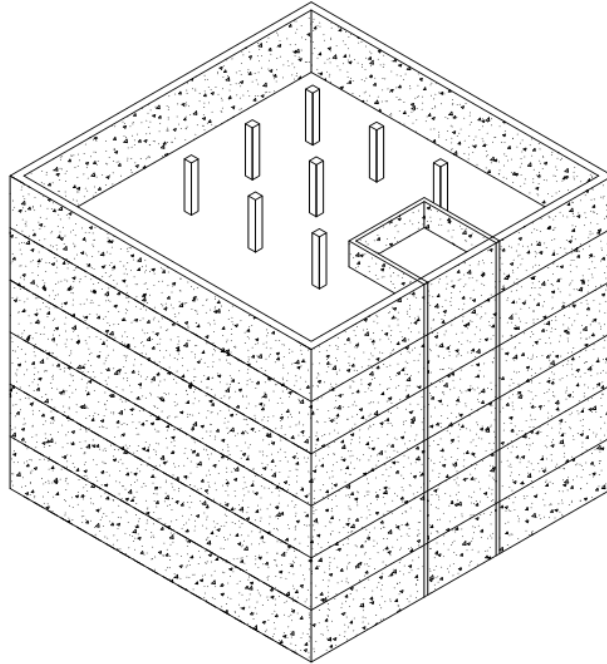


Fuente: elaboración propia.

2.1.1.3. Estructuras de marcos con muros de cortante y falsa simetría

Núcleos de gradas y/o elevadores construidos en puntos asimétricos en relación con la simetría de la estructura, producen grandes fuerzas de torsión, las cuales pueden causar daños en la unión del diafragma con el núcleo y en las partes más lejanas al núcleo (ver figura 12).

Figura 12. **Edificación con falsa simetría, debido a un núcleo de muros de cortante**



Fuente: elaboración propia.

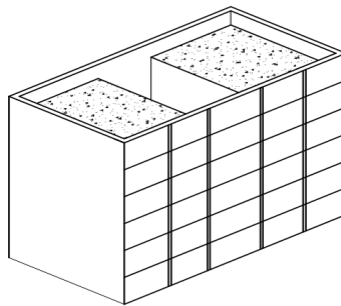
2.1.1.4. Diafragma con aberturas

En los diafragmas que poseen grandes aberturas, se debilita la capacidad de diafragma e interrumpen la distribución de carga a elementos resistentes verticales (ver figura 13 y 14).

Las aberturas reducen la capacidad, no solo por el cambio de sección (menor cantidad de material resistente), sino por la torsión que se pueda producir por la excentricidad, debido a la asimetría en la posición o forma de las aberturas.

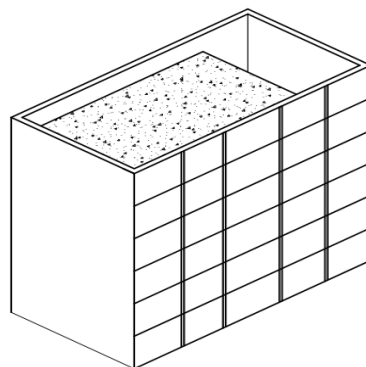
Por la menor sección, se pueden manifestar los daños en los puntos adyacentes al cambio de sección; por la excentricidad, los daños se manifiestan en sectores opuestos y más lejanos a los elementos que las producen.

Figura 13. **Abertura con forma y ubicación simétrica en un diafragma horizontal**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Abertura con forma simétrica y ubicación asimétrica en un diafragma horizontal**

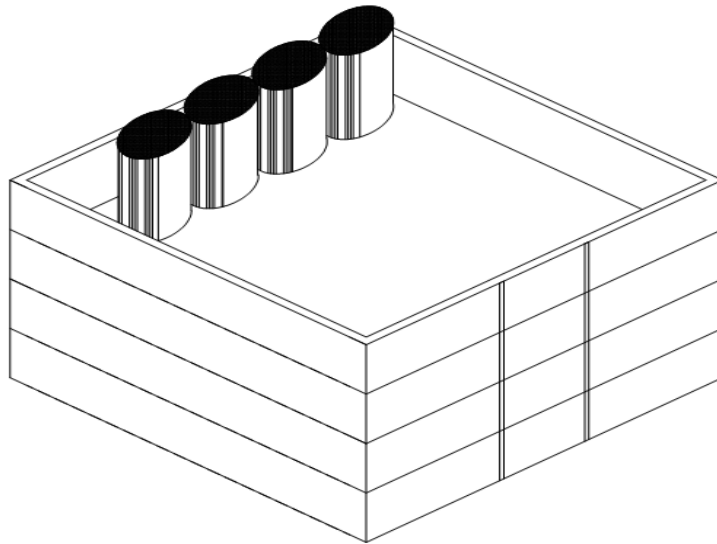


Fuente: elaboración propia.

2.1.1.5. Falsa simetría en la distribución de las masas

Las masas excéntricas situadas en algún lugar de la edificación, tales como tanques de agua o cualquier material pesado colocado sobre la estructura asimétrica, pueden provocar problemas de torsión, que frecuentemente se manifiesta en los elementos perimetrales de la estructura (ver figura 15).

Figura 15. **Masas colocadas asimétricamente provocando excentricidad en la estructura**



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. Irregularidades en la elevación

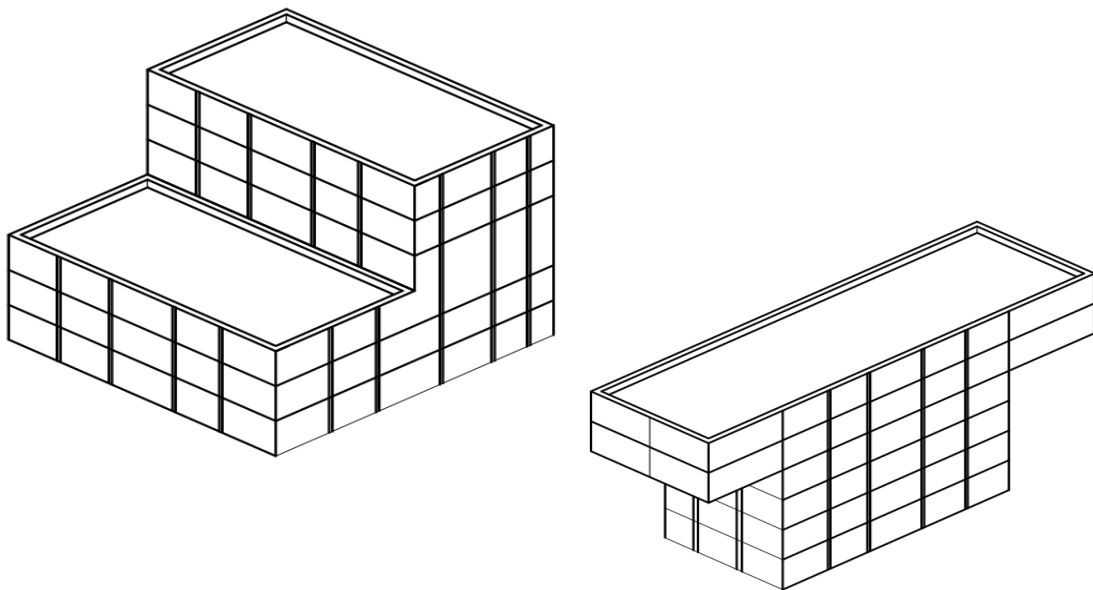
Las irregularidades de una construcción, son determinantes en el comportamiento de la misma al momento de un sismo, debido a que las fuerzas

inerciales están en función de la forma, peso y dimensiones de la estructura, las irregularidades en elevación son directamente influyentes y se pueden dividir de la siguiente manera:

2.1.2.1. Estructuras escalonadas verticalmente

Estas estructuras presentan algunos problemas, tales como el cambio abrupto de resistencia y rigidez, produciendo concentración de esfuerzos y grandes fuerzas en el diafragma superior; además, presentan diferentes períodos de vibración para distintas partes del edificio. Todo lo anterior se manifiesta con posibles daños en los puntos donde se da el cambio brusco de sección vertical (ver figura 16).

Figura 16. **Estructuras con cambios bruscos en elevación**

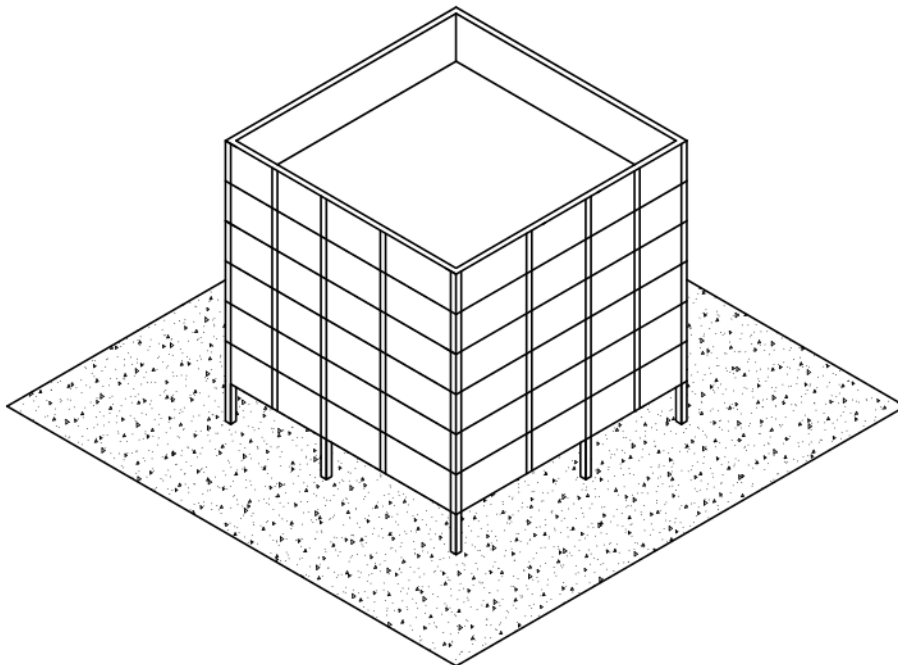


Fuente: elaboración propia.

2.1.2.2. Estructuras con planta baja abierta o grandes espacios en cualquier piso

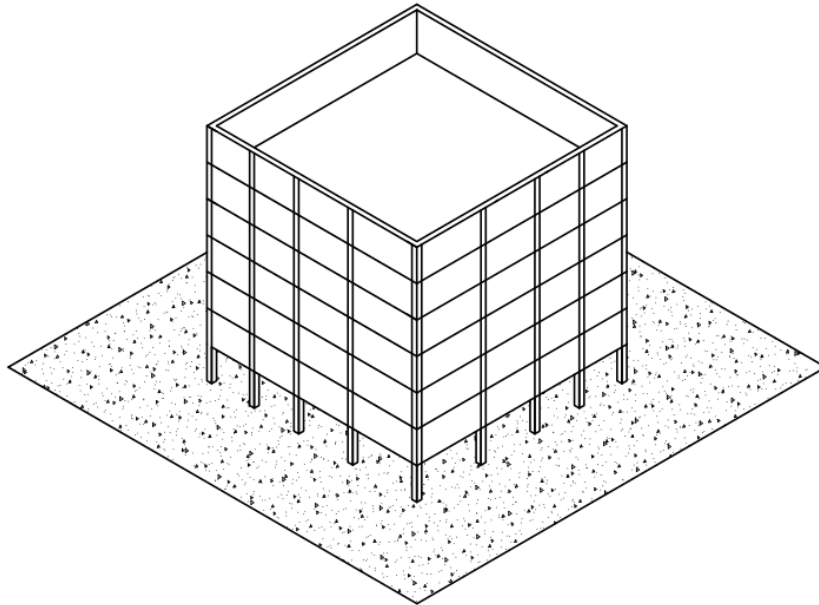
El llamado piso débil, causa problemas de discontinuidad de resistencia y rigidez. Las deformaciones tienden a concentrarse en el punto de discontinuidad y el piso experimentará altos esfuerzos y posibles daños mayores (ver figura 17 y 18).

Figura 17. **Edificación con menor número de columnas en el primer nivel**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Edificación con columnas más largas en el primer nivel**

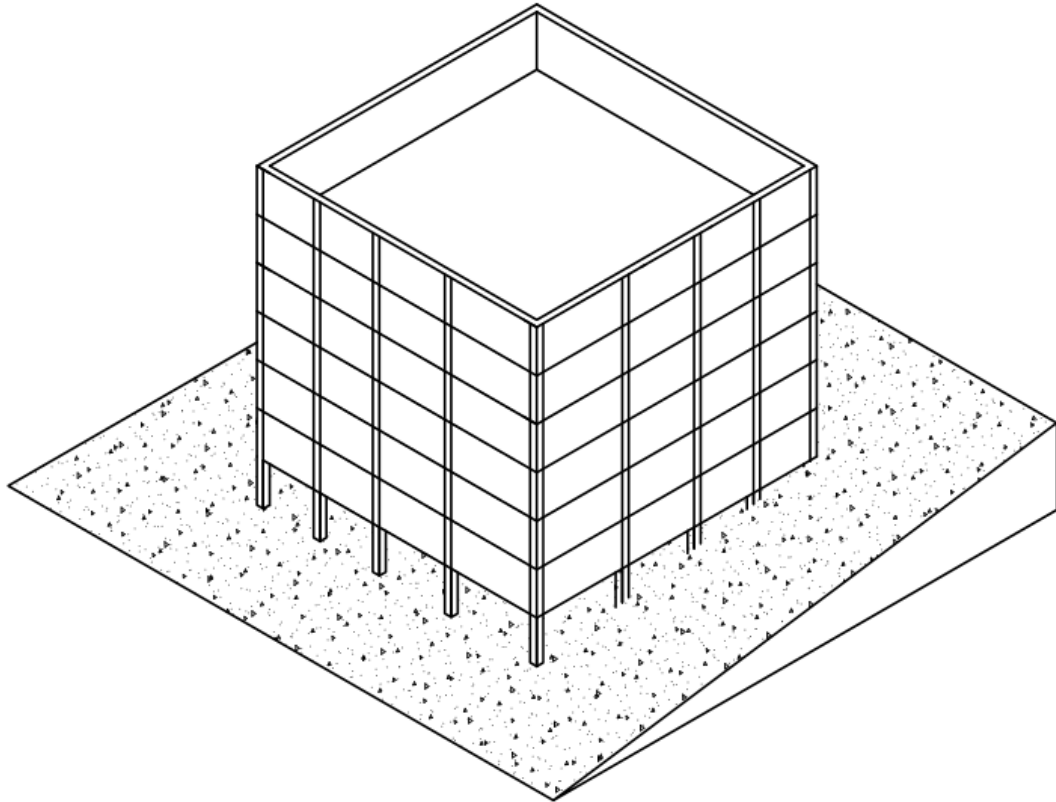


Fuente: elaboración propia.

2.1.2.3. Estructuras con columnas de rigidez variable en un mismo nivel

Cuando se tienen edificios de marcos construidos en laderas o rellenos y/o edificios con cielo a diferentes alturas en un mismo piso (ejemplo: entrepiso discontinuo), puede variar la rigidez relativa de las columnas para un mismo piso, ocasionando que las columnas más cortas tengan más carga y sea donde se localice posiblemente mayor daño (ver figura 19).

Figura 19. **Edificio construido en una ladera con columnas de diferente altura en el primer nivel**



Fuente: elaboración propia.

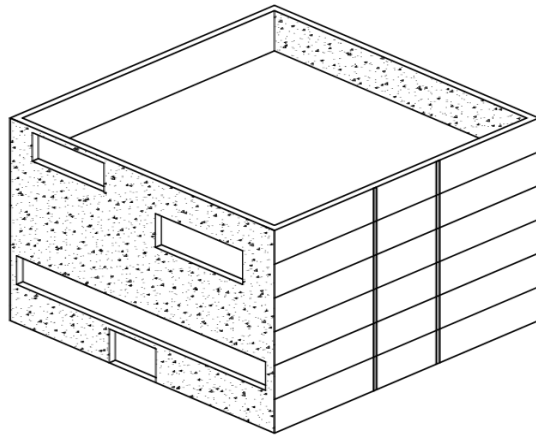
2.1.2.4. Estructuras con muros de cortante con grandes aberturas

Los muros de cortante con grandes aberturas, pueden comportarse como marcos, produciendo áreas localizadas de debilidad y posible falla en las partes más esbeltas.

Los muros de cortante acoplados, son otro ejemplo de configuraciones vulnerables, los problemas que presentan, serán por deflexión en las vigas de acoplamiento, especialmente si los muros son altos y esbeltos, en cuyo caso la falla ocurrirá en la viga.

En la figura 20 se puede apreciar el esquema de una edificación con un muro de corte que tiene varias aberturas de diferentes tamaños.

Figura 20. **Edificio con aberturas de diferente tamaño en el muro de corte**



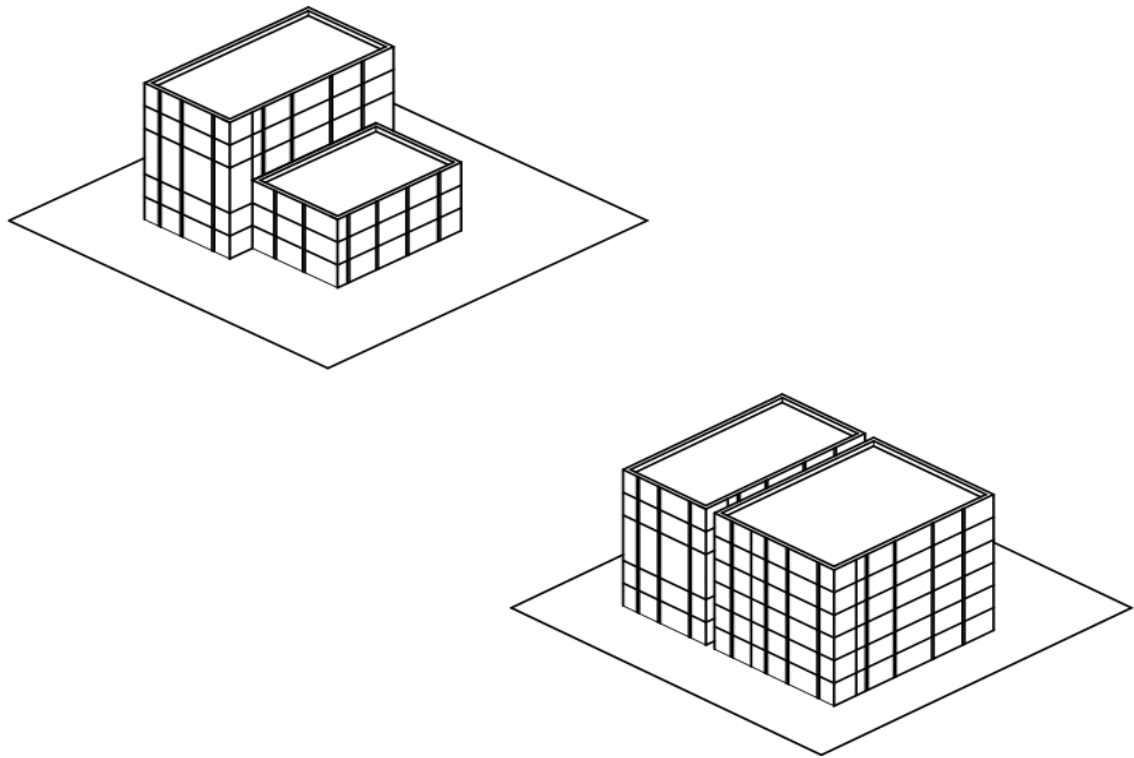
Fuente: elaboración propia.

2.1.2.5. Estructuras colindantes

El problema de edificios adyacentes o de dos partes de un mismo edificio, es que puedan golpearse entre sí durante un sismo. Los daños dependerán del período de vibración, altura, desplazamiento lateral y distancia

entre los edificios. Los daños se manifiestan en los puntos de contacto (ver figura 21).

Figura 21. **Estructuras adyacentes**



Fuente: elaboración propia.

2.2. Tipos de daños

Toda estructura debe asegurar un comportamiento adecuado bajo las cargas que serán impuestas a ella, tanto gravitacionales como sísmicas; debe poseer una resistencia adecuada para soportar las cargas, rigidez para exhibir deformaciones tolerables y estabilidad al ser sometida a fuerzas verticales y horizontales.

Las estructuras sujetas a movimientos sísmicos pueden sufrir daños en los elementos que las componen, conocidos como daños estructurales, o bien ocasionar daños en elementos no estructurales, tales como elementos arquitectónicos, sistemas eléctricos y mecánicos, instalaciones sanitarias, etcétera.

Una evaluación postsismo, pretende determinar el grado de seguridad que la estructura presenta ante la posibilidad de nuevos eventos sísmicos, tomando en cuenta el riesgo que presentan posibles daños en elementos no estructurales y/o en el sistema estructural propiamente dicho.

Toda edificación debe tener un sistema estructural que soporte las cargas verticales, incluyendo cargas de operación y funcionamiento, y un sistema de soporte para cargas laterales. Para considerar que una estructura es segura, ambos sistemas deben funcionar de manera correcta, es decir; que no presentan daños que pongan en peligro el funcionamiento adecuado de la edificación.

2.2.1. Daños estructurales

Son los que afectan la estabilidad y/o la resistencia de la estructura; pueden ser menores, moderados y mayores. Depende de la capacidad de inspección visual diferenciarlos entre sí.

2.2.1.1. Daños menores

Son daños que no implican debilitamiento significativo del elemento; generalmente no necesitan reparación. Ejemplo: pequeñas fisuras, cortas y muy delgada.

2.2.1.2. Daños moderados

Son daños significativos que han afectado la resistencia y/o la estabilidad del elemento; si se dan en forma aislada en algún elemento, la estructura total puede no ser peligrosa; si ocurre en forma generalizada la estructura debe repararse globalmente.

2.2.1.3. Daños mayores o severos

Si el sistema estructural de un edificio ha sufrido daños mayores, la estructura se debe clasificar como insegura. Entre los daños mayores se pueden mencionar el colapso parcial o total de la estructura, edificaciones inclinadas o con asentamientos, paredes severamente agrietadas y/o desplomadas, vigas o columnas falladas, pisos separados de su soporte vertical, juntas y conexiones que muestren fallas significativas, cimientos fracturados y cosas semejantes.

2.2.2. Daños no estructurales

Son daños que surgen en los elementos que no forman parte del sistema estructural de la edificación, pero que si presentan un riesgo para los ocupantes y áreas aledañas. La edificación puede ser clasificada como insegura.

Los daños no estructurales se pueden dar en elementos arquitectónicos, sistema eléctrico, sistemas mecánicos, etcétera.

Dentro de los daños a elementos arquitectónicos se pueden encontrar daños en muros no estructurales, interiores (tabiques) y exteriores, severamente agrietados y/o colapsados parcialmente; cubos de escaleras y

ascensores separados o agrietados, cielos falsos con peligro de caerse, tableros de concreto desplomados o agrietados, elementos que se han corrido de su soporte vertical o se han caído totalmente.

En los sistemas eléctricos se pueden encontrar daños en la fijación de ductos y sistemas de iluminación que presenten riesgo de caerse, sistemas eléctricos de emergencia y comunicación dañados, etcétera.

En los sistemas mecánicos se pueden encontrar ascensores fallados o atrapados entre dos pisos, calderas y hornos dañados, tuberías caídas o separadas de su soporte, etcétera.

2.3. Método de evaluación

Debido a la carencia de métodos efectivos de evaluación de daño estructural en la República de Guatemala, y siendo el planeamiento un área de poca consideración más de gran importancia, se propone el siguiente método:

2.3.1. Objetivo

El objetivo de la evaluación, es establecer después de un sismo, de una manera eficaz y rápida, cuales edificaciones están en condiciones de ser utilizadas y cuales, por haber sufrido daños, son inseguras y no habitables. De ser necesario, la evaluación recomendará una inspección subsiguiente más especializada y detallada por parte de especialistas, para llegar a conclusiones acerca de su estado.

Todo método de evaluación tiene que basarse en el conocimiento y criterio de los evaluadores. Por lo tanto, los evaluadores deben ser personas

con conocimientos del comportamiento de las estructuras y los materiales, y tener experiencia en el ramo de la construcción, tales como ingenieros civiles, arquitectos, ingenieros estructurales, estudiantes de grados avanzados de ingeniería o arquitectura experimentados en construcción.

Como resultado de la evaluación, cada edificación será clasificada según su estado y se le colocará una etiqueta de un color determinado, de acuerdo al estado en que se encuentre. Ver tabla V.

2.3.2. Conocimientos que deben tener los evaluadores de daños

El método de evaluación se ha diseñado para ser aplicado por ingenieros civiles, arquitectos o personas que tengan experiencia en el diseño, construcción y comportamiento de edificaciones de diversos materiales. Como los procedimientos son de tipo general, no es esencial la experiencia de un ingeniero especializado. Los evaluadores podrían ser estudiantes de ingeniería o arquitectura que hayan completado los cursos del área de estructuras, materiales de construcción y tengan la experiencia práctica en construcción.

Será deseable que los evaluadores hayan recibido entrenamiento previo en el uso de la metodología a emplear.

2.4. Procedimiento y criterio para la evaluación

La evaluación se realizará inspeccionando primero el exterior de la edificación. Se caminará alrededor de toda la edificación, siempre y cuando sea posible. Si la edificación se presenta insegura, no se deberá correr el riesgo de ingresar a ella. También se inspeccionará el suelo de los alrededores.

Si se considera razonable se procederá entonces a evaluar la estructura interiormente.

Para la evaluación, se utilizarán los criterios dados en capítulos posteriores para cada tipo de material. Los criterios se utilizarán para establecer las condiciones de la edificación, su seguridad y posibilidad de ocupación.

Para la evaluación, se propone el uso del formato de evaluación de daños por sismo en estructuras, mostrado al final de este capítulo en la figura 22.

2.4.1. Evaluación externa de la edificación

Se examinará la edificación para detectar daños visibles exteriormente, pudiendo ser condiciones como las siguientes: colapso total, colapso parcial, inclinación de la edificación, daños severos en muros exteriores, desplazamiento de su cimentación, peligro de desplome de elementos o cualquier otro tipo de daño general importante obvio. Estas condiciones deberán indicarse en el cuadro E2 del formato de evaluación.

Si se presenta cualquiera de estas condiciones de la edificación, deberá considerarse insegura. Se recomienda no ingresar a la edificación. Se aconseja la colocación de la etiqueta roja (ver anexo, modelos de etiquetas).

Cuando la edificación representa peligro para áreas adyacentes, estas se acordonarán.

2.4.2. Evaluación de daños geotécnicos

Evaluar la posibilidad de que existan daños geotécnicos en áreas adyacentes y en la edificación.

Definir cualquiera de las siguientes condiciones: asentamiento, corrimientos, grietas, deslizamientos, derrumbes y licuefacción, las cuales se anotarán en el cuadro E3.

Si se presenta cualquiera de estas condiciones, la edificación se deberá considerar insegura, al menos mientras no se haga una evaluación más profunda y se demuestre lo contrario. Se recomienda no ingresar a la edificación. La colocación de la etiqueta roja es recomendable, además se colocará la etiqueta morada para indicar la existencia de daños geotécnicos.

2.4.3. Identificación de los materiales de la estructura

Determinar, cuál es el material utilizado en la estructura, tanto en la principal como en elementos secundarios, se anotará en el cuadro E4.

2.4.4. Evaluación interna de la edificación

Para evaluar los daños en los elementos de la estructura, se utilizará la información proporcionada en el capítulo correspondiente al material de construcción de que se trate, en la forma siguiente:

Tabla IV. **Magnitud asignada a energía liberada en un sismo**

| MATERIAL | CAPITULO |
|-----------------------|-----------------|
| ADOBE | 3 |
| MAMPOSTERÍA | 3 |
| CONCRETO REFORZADO | 4 |
| CONCRETO PREFABRICADO | 4 |
| ACERO | 5 |
| MADERA | 6 |

Fuente: elaboración propia.

Establecer en la forma más cuidadosa posibles los daños en el sistema estructural y se anotaran en el cuadro E5, indicando el tipo de daño y escribiendo el código correspondiente (ver capítulo correspondiente al material de la estructura).

Examinar especialmente todos los elementos portantes de carga vertical y el sistema responsable de soportar cargas horizontales. Se verá si las columnas y/o muros de carga muestran señales de falla, si un entrepiso o un techo se han desplazado en relación a su soporte vertical o si una losa o viga presenta signos de falla.

2.4.5. Clasificación de daño y colocación de etiquetas

De acuerdo a la evaluación de la estructura, en función de los daños observados, se clasificará la edificación en cuanto a su habitabilidad o su

peligrosidad y se colocará la etiqueta correspondiente de acuerdo a la siguiente tabla. Se complementará la parte E5 del formato de evaluación.

Las etiquetas deberán estar disponibles al momento de ser requeridas para su utilización, por lo que se presentan los formatos recomendados en el apéndice.

Tabla V. **Clasificación y etiquetación de estructuras según daño**

| Clasificación | Etiqueta |
|--|---|
| Edificación cuya evaluación señala que no presenta peligro aparente. Es habitable en su totalidad. Sin limitaciones. | Color: VERDE Leyenda: HABITABLE Fecha de evaluación Hora Evaluador |
| Edificación que presenta daños parciales y posible peligro en parte o en la totalidad de la estructura. Se recomienda permitir el ingreso solamente a personal calificado. Se aconseja una evaluación adicional por un especialista. | Color: AMARILLO Leyenda: NO HABITABLE INGRESO LIMITADO Requiere inspección Fecha de evaluación Hora Evaluador |

Continuación de tabla V.

Clasificación

Etiqueta

Edificación con daños que significan peligro notable en una porción de la estructura; esa área debe ser acordonada y no se deberá ingresar a ella. Se recomienda un ingreso limitado solamente al área no acordonada. Se requiere evaluación adicional por un especialista.

Color: AMARILLO CON ROJO
Leyenda: NO HABITABLE
PELIGRO
Requiere inspección
Fecha de evaluación
Hora
Evaluador

Edificación que presenta daño severo y representa peligro inminente. No se debe permitir el ingreso de ninguna persona.

Color: ROJO
Leyenda: PROHIBIDO EL
INGRESO
Fecha de evaluación
Hora
Evaluador

Área que presenta peligro por daños geotécnicos aparente. Se recomienda una evaluación por un especialista.

Color: MORADO
Leyenda: DAÑO GEOTÉCNICO
Fecha de evaluación
Hora
Evaluador

Fuente: elaboración propia.

A todas las edificaciones se les colocará de inmediato la(s) etiqueta(s) correspondiente(s), que deberá(n) ubicarse en cada una de las entradas a la edificación o instalaciones. A los ocupantes que estén en las edificaciones que se consideren inseguras se les recomendará desalojar lo antes posible. Se anotará en la parte E7 cuál de las etiquetas se colocó.

2.4.6. Recomendaciones

En la parte E8 se podrá hacer un apunte de lo que se considere adecuado como acción inmediata para la seguridad de los moradores y/o de la edificación, tales como apuntalamientos, demoliciones totales o parciales, reparación de fugas, reparación de instalación eléctrica u otra recomendación pertinente.

2.4.7. Esquema

En la parte final del formulario de evaluación, E9, se elaborará un esquema de la planta de la edificación orientada al norte y algún detalle de la elevación con la ubicación de los daños más significativos.

Figura 22. Evaluación de daños por sismo en estructuras

| E1. DATOS GENERALES | | | |
|--|--|------------------------------|--|
| Nombre de la edificación (si tiene): _____ | | | |
| Dirección: _____ | | | |
| Municipio: _____ | | Departamento: _____ | |
| Uso general de la edificación: _____ | | Número de pisos: _____ | |
| Grupo de evaluación No.: _____ | | Nombre del evaluador: _____ | |
| Fecha de evaluación: _____ | | Hora de la evaluación: _____ | |

| E2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES EXTERNAS | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|-------------|
| CONDICIÓN | SI | NO | COMENTARIOS |
| 1. COLAPSO TOTAL | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 2. COLAPSO PARCIAL | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 3. INCLINACIÓN DE LA EDIFICACIÓN | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 4. DAÑOS SEVEROS EN MUROS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 5. DESPLAZADA DE SU CIMENTACIÓN | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 6. PELIGRO DE DESPLOME DE ELEMENTOS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 7. OTROS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |






| E3. DAÑOS GEOTÉCNICOS | | | |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|
| | SI | NO | COMENTARIOS |
| 1. ASENTAMIENTOS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 2. CORRIMIENTOS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 3. GRIETAS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 4. DESLIZAMIENTOS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 5. DERRUMBES | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 6. LICUEFACCIÓN | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |
| 7. OTROS | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | _____ |

Continuación de la figura 22.

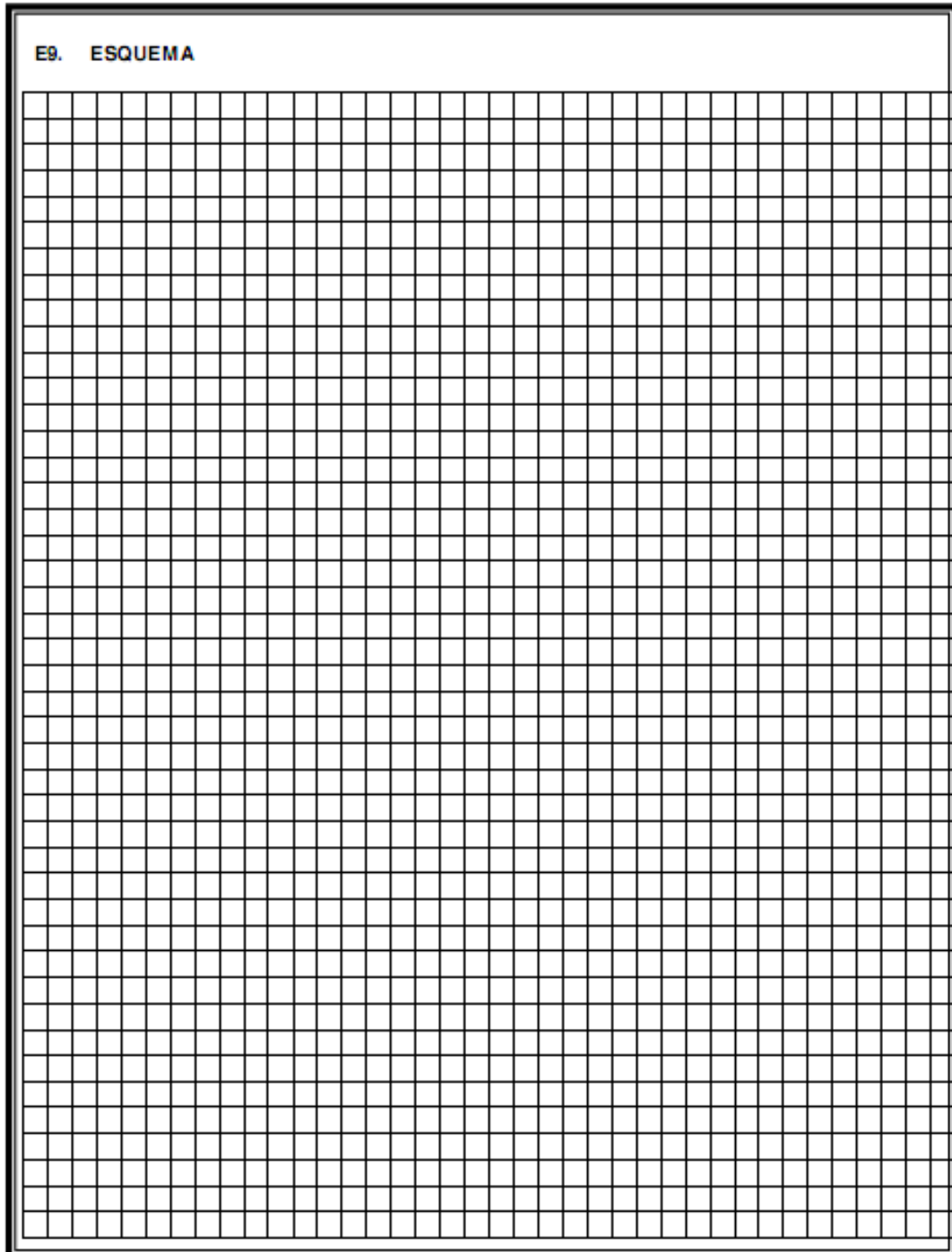
| E4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL | | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------------|----------------|---------------------|------------------|------------------|-------|------------|--------------------|--------|-------|
| ELEMENTO ESTRUCTURAL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN | Columnas | Muros de carga | Muros de corte | Tabiques interiores | Muros exteriores | Arriostramientos | Vigas | Entrepisos | Techos o cubiertas | Gradas | Otros |
| | Adobe | | | | | | | | | | |
| Mampostería no reforzada | | | | | | | | | | | |
| Mampostería reforzada | | | | | | | | | | | |
| Concreto | | | | | | | | | | | |
| Concreto prefabricado | | | | | | | | | | | |
| Acero | | | | | | | | | | | |
| Madera | | | | | | | | | | | |
| Otros | | | | | | | | | | | |

| E5. DESCRIPCIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES | | | |
|--|--------------------------|--------------------------|-------------|
| ELEMENTOS | SI | NO | COMENTARIOS |
| Columnas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Conexiones columna-vigas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Muros de carga | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Muros de corte | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Tabiques interiores | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Muros exteriores | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Arriostramientos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Vigas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Entrepisos | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Techos o cubiertas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Conexiones Viga-techo, muro-techo | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Gradas | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| Otros | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |

Continuación de la figura 22.

| E7. COLOCACIÓN DE ETIQUETA | |
|---|--|
| CLASIFICACIÓN | ETIQUETA |
| Edificación cuya evaluación señala que no presenta peligro aparente. Es habitable en su totalidad. Sin limitaciones |  Color: VERDE Leyenda: HABITABLE Fecha de evaluación: Hora: Evaluador: |
| Edificación que presenta daños parciales y posible peligro en parte o en la totalidad de la estructura. Se recomienda permitir el ingreso solamente a personal calificado. Se aconseja una evaluación adicional por un especialista |  Color: AMARILLO Leyenda: NO HABITABLE INGRESO LIMITADO Fecha de evaluación: Hora: Evaluador: |
| Edificación con daños que significa peligro notable en una porción de la estructura; esa área debe ser acordonada y no se deberá ingresar a ella. Se recomienda un ingreso limitado solamente al área no acordonada. Se requiere evaluación adicional por un especialista |  Color: AMARILLO CON ROJO Leyenda: NO HABITABLE PELIGRO: Requiere inspección. Fecha de evaluación Hora: Evaluador: |
| Edificación que presenta daño severo y representa peligro inminente. No se debe permitir el ingreso a ninguna persona. |  Color: ROJO Leyenda: PROHIBIDO EL INGRESO Fecha de evaluación Hora: Evaluador: |
| Área que presenta peligro por daños geotécnicos aparentes. Se recomienda una evaluación adicional por un especialista |  Color: MORADO Leyenda: DAÑO GEOTÉCNICO Fecha de evaluación Hora: Evaluador: |
| E8. RECOMENDACIONES | |
| <hr/> <hr/> <hr/> | |

Continuación de la figura 22.



Fuente: elaboración propia.

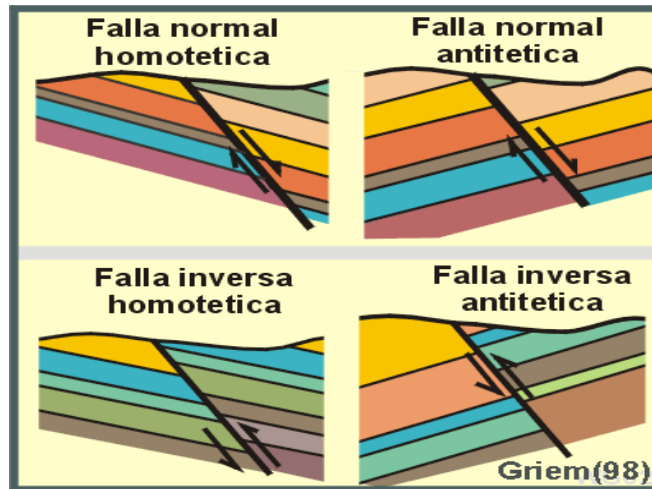
2.5. Daños geotécnicos

Los fenómenos geotécnicos pueden causar daños y amenazar la seguridad de las estructuras. Por ejemplo, un sismo puede inducir fallas en el suelo debajo de una construcción, poniendo en peligro la integridad física de la edificación y/o de los ocupantes de la misma.

Las masas de suelo pueden moverse por una de las causas siguientes: caídas, volcaduras, deslizamientos, ensanchamientos, corrimientos, o por una combinación de cualesquiera de las anteriores. Puede darse una gran variedad de procesos que resultan de movimientos hacia abajo, hacia arriba y/o hacia fuera de los materiales que forman el suelo, tales como rocas, tierra, rellenos artificiales o bien una mezcla de estos.

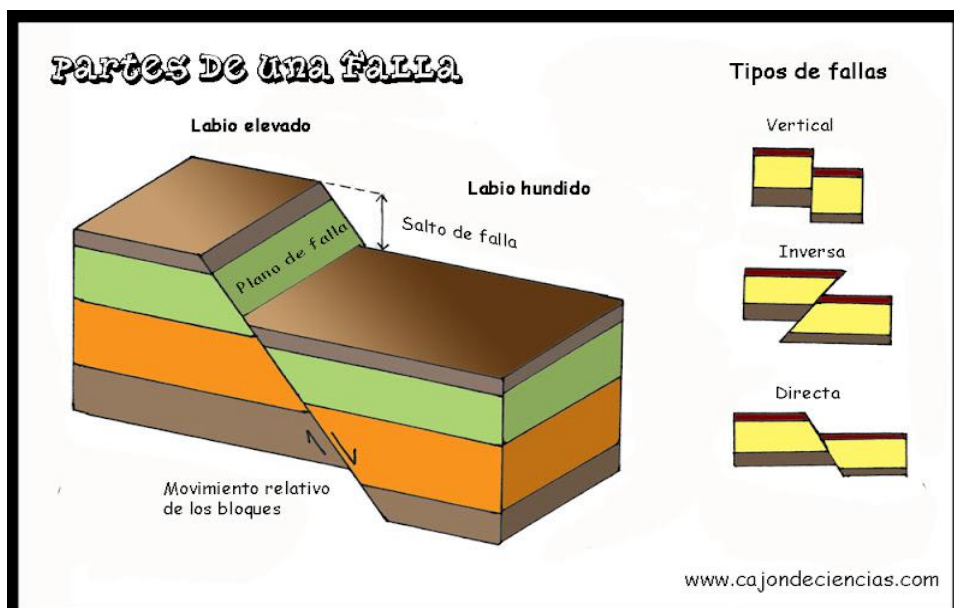
Algunos de estos movimientos son grandes y ocurren muy rápido, pudiendo causar muchas víctimas; otros son lentos, pero muy destructivos. Los movimientos en el suelo provocan grietas en la superficie, comúnmente llamadas fallas del suelo, que pueden ser fallas normales, fallas inversas, deslizamientos o corrimientos, tal como se ilustra en los siguientes esquemas (figuras 23 y 24).

Figura 23. Esquemas de tipos de falla del suelo



Fuente: imágenes de google, tipos de fallas del suelo. Consulta: mayo 2012.

Figura 24. Esquemas de tipos de falla del suelo



Fuente: imágenes de google, tipos de fallas del suelo. Consulta: mayo 2012.

Las fallas en el suelo se pueden manifestar como asentamientos, corrimientos, grietas, deslizamientos, derrumbes o licuefacción. Entre las principales causas de fallas en el suelo se mencionan las fallas geológicas (zonas de contacto entre placas tectónicas), colapso de cavernas o cavidades en el subsuelo, derrumbes, deslizamiento y licuefacción del suelo.

Como otras causas de fallas en el suelo se pueden 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 la humedad del suelo sobrepasando su capacidad de absorción.

2.5.1. Asentamientos

Un asentamiento es el cambio relativo de nivel entre dos porciones del suelo adyacentes, que puede tener como causa la combinación de un sismo con una falla geológica, con una caverna, con licuefacción, con dispersión lateral o con consolidación. Este fenómeno se puede apreciar en las figuras 25 y 26.

Figura 25. **Asentamiento diferencial**



Fuente: imágenes de google, tipos de fallas del suelo. Consulta: mayo 2012.

Figura 26. **Daño provocado en una vivienda por el asentamiento del suelo**



Fuente: imágenes de google, tipos de fallas del suelo. Consulta: mayo 2012.

2.5.2. Corrimientos

Son desplazamientos horizontales relativos de la misma capa de suelo, perdiéndose la continuidad del terreno a lo largo del corrimiento. Generalmente se manifiestan en fallas geológicas, debido a sismos y pueden ser corrimientos pequeños o de grandes dimensiones, a través de grandes distancias. En las siguientes fotografías se puede apreciar la discontinuidad provocada por un corrimiento de suelo (figuras 27, 28, 29 y 30).

Figura 27. **Corrimiento de tierra en Nueva Zelanda. La costa sur oeste fue desplazada 0,30 metros**



Fuente: imágenes de google, tipos de fallas del suelo por sismos. Consulta: mayo 2012.

Figura 28. **Daño producido en línea férrea por corrimiento**



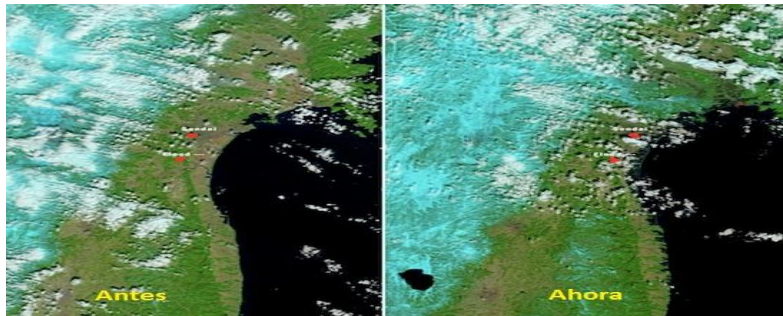
Fuente: imágenes de google, tipos de fallas del suelo por sismos. Consulta: mayo 2012.

Figura 29. **Destrucción de línea férrea en toda Guatemala por el terremoto de 1976. Foto de zona 1 capitalina, barrio Gerona**



Fuente: imágenes de google, destrucción causada por el terremoto de 1976 en Guatemala.
Consulta: mayo 2012.

Figura 30. **Desplazamiento notorio de la costa japonesa por terremoto del 2011**



Fuente: imágenes de google, tipos de fallas del suelo por sismos. Consulta: mayo 2012.

2.5.3. Grietas

Son aberturas que se forman en la superficie de la tierra, debido a fallas geológicas, sismos o cambios volumétricos por pérdida de humedad en el suelo.

Figura 31. **Grieta a lo largo de una llanura en la provincia de Venezuela**



Fuente: imágenes de google, grietas en el suelo por sismos. Consulta: mayo 2012.

Figura 32. **Imagen de problemática sucedida en Mixco por falla sísmica, grieta transversal a la calle**

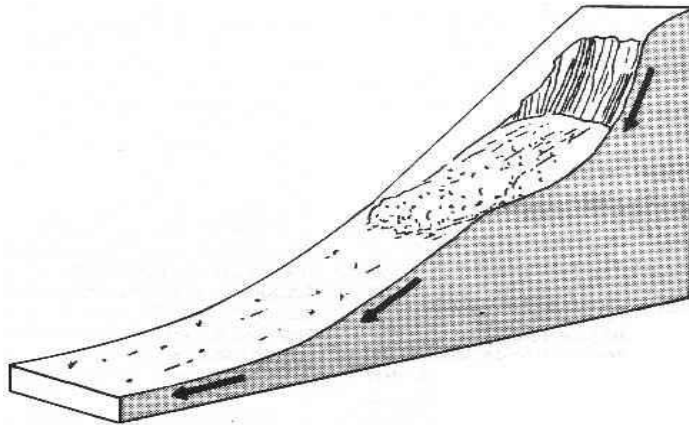


Fuente: imágenes de google, grietas en el suelo por sismos en Guatemala. Consulta: mayo 2012.

2.5.4. 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 laderas, cuyos taludes pierden la estabilidad debido a cambios producidos por sismos, características inherentes del suelo, contenido de agua, clima, condiciones de uso y bien una combinación de estas. Como se ve en los siguientes esquemas y fotografías (figuras 33, 34, 35 y 36).

Figura 33. **Esquema de un deslizamiento**



Fuente: imágenes de google, deslizamiento de suelos. Consulta: mayo 2012.

Figura 34. **Deslizamiento de una ladera**



Fuente: imágenes de google, deslizamiento de suelos. Consulta: mayo 2012.

Figura 35. **Deslizamiento de una colina y destrucción total de la carretera**



Fuente: imágenes de google, deslizamiento de suelos. Consulta: mayo 2012.

Figura 36. **Deslizamiento de un cerro sobre un caserío en una provincia de Venezuela**



Fuente: imágenes de google, deslizamiento de suelos. Consulta: mayo 2012.

2.5.5. 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, tránsito de automotores), saturación, socavamiento y aguas subterráneas.

El material desprendido se acumula en la base del talud o ladera. En la siguiente figura se muestra uno de los tantos derrumbes en las carreteras nacionales (figura 37).

Figura 37. **Carretera bloqueada por derrumbe en ruta Interamericana**



Fuente: imágenes de google, derrumbes en Guatemala. Consulta: mayo 2012.

2.5.6. Licuefacción

Es un fenómeno asociado con los terremotos, se debe al aumento de la presión intersticial de los depósitos de arena en combinación con pérdida de resistencia. Grandes masas de suelo se pueden volver movedizas y se comportan como un líquido.

La licuefacción puede manifestarse como en las figuras 38, 39 y 40.

Figura 38. **Esquema del proceso de licuefacción**



Fuente: imágenes de google, licuefacción. Consulta: mayo 2012.

Figura 39. **Construcción volcada debido a licuefacción**



Fuente: imágenes de google, licuefacción. Consulta: mayo 2012.

Figura 40. **Zona de edificaciones afectada por licuefacción**



Fuente: imágenes de google, licuefacción. Consulta: mayo 2012.

2.5.7. Evaluación de daños

Toda falla apreciable debe indicarse en el formulario de evaluación en la parte E3 y en la parte E9 (esquina).

Para inspeccionar las fallas que puedan presentar peligro para una construcción, se debe hacer desde el exterior, por razones de seguridad para el evaluador. Cuando se observen fallas en el suelo que mantienen continuidad en su dirección y dimensión, son de mayor peligro cuando atraviesan la construcción o se localicen cerca de esta, debido a que pueden verse afectadas, tanto la cimentación como otras partes vitales de la estructura.

Si una falla del suelo con las características mencionadas en el párrafo anterior se manifiesta en algún elemento de la edificación, se deberá considerar que ésta es insegura.

Si una falla muestra movimiento relativo del suelo de 5 centímetros o más en sus direcciones vertical, longitudinal y/o transversal (asentamientos,

corrimientos y/o grietas), deberá considerarse el área insegura, tanto estructural como geológicamente; aunque dicha falla no se manifieste con daños visibles en la edificación. En taludes es importante revisar si existen indicios de falla en el suelo, tales como grietas tensionales, principalmente la corona o en pendiente, tanto para determinar la inseguridad de estructuras ubicadas en las cercanías de la corona o al pie del talud, así como las que se encuentren sobre el talud propiamente dicho.

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

Otra clara manifestación de deslizamiento, es cuando se ven árboles, ubicados en la ladera, que pierden verticalidad. Este fenómeno no debe confundirse con la reptación de laderas que se manifiesta con una curvatura en los trocos de los árboles que indica la existencia de un deslizamiento importante en este tipo de fallas.

Cualquiera de los riesgos mencionados con anterioridad, (deslizamientos o derrumbes) implica que el área afectada deberá considerarse como insegura.

Cuando se inicia la licuefacción se observan pequeños montículos de material (similares a la boca de un zompopero), donde hubo expulsión de agua. La dispersión lateral del sueño, fenómeno que normalmente acompaña a la licuefacción, se manifiesta como un levantamiento de material de las proximidades del evento.

Al encontrar indicios de cualquiera de las dos últimas condiciones, también deberá considerarse insegura.

Si en el exterior no se encuentra ninguno de estos indicios, se puede ingresar a la edificación para construir la evaluación, sin dejar de verificar que no exista este tipo de problemas en el interior, que indiquen falla, ya sea de dimensión grande o localizada.

3. ESTRUCTURAS DE ADOBE Y MAMPOSTERÍA

3.1. Generalidades del adobe

El adobe ha sido y es una solución natural para el hábitat en diversas regiones del mundo. El uso de la tierra como material de construcción forma parte de la tradición manual.

En Guatemala el adobe se uso durante la colonia y se continúa usando con algunas modificaciones. En la actualidad más de la mitad de la población del tercer mundo vive en casas de barro. Las soluciones técnicas para construcciones de adobe han sido diversas a lo largo del tiempo, pero en la práctica se construyen con las mismas técnicas tradicionales.

Fundamentalmente el adobe está compuesto de arena, arcilla y agua. Esta mezcla generalmente se combina con paja y pino. Los elementos de adobe se moldean en forma de bloques y son secados al aire para ser utilizados posteriormente en la construcción de muros, paredes y columnas.

De evaluaciones realizadas postsismo, se sabe que el adobe ha mostrado en general un comportamiento poco satisfactorio.

3.2. Elementos

Los elementos constructivos, más importantes que integran una estructura, enfocados en el uso del adobe, son diversos en su geometría y dimensiones. Se cubrirán los más comunes en éste país, los cuales son:

3.2.1. Muros

Son aquellas estructuras compuestas por bloques de diversos materiales, cuya función primordial es el cerramiento de ambientes, el soporte y la transmisión de cargas de superestructuras hacia las subestructuras. Los más usuales pueden clasificarse como:

3.2.1.1. Muros de carga

Se caracterizan por soportar cargas verticales y transmitir las hacia la estructura inferior inmediata, vigas o cimentaciones, son parte primordial de una estructura funcional y efectiva.

3.2.1.2. Tabiques interiores

Generalmente se emplean para dividir ambientes en la parte interna de viviendas. Un tabique se caracteriza por no ser responsable de soportar cargas verticales, lo que lo hace diferente del muro de carga.

3.2.1.3. Paredes aisladas

Las paredes aisladas de adobe se caracterizan por tener generalmente una relación longitud altura mayor de dos. Un muro perimetral es un ejemplo de pared aislada.

3.2.2. Columnas

Las columnas de este tipo de material, fundamentalmente son elementos que soportan cargas por compresión.

Las columnas generalmente son verticales y son utilizadas para apoyar las vigas. Estos elementos transmiten las cargas de niveles superiores a niveles inferiores y al cimiento.

3.2.3. Dinteles (en aberturas, puertas y ventanas)

Generalmente las aberturas, puertas y ventanas se encuentran enmarcadas por elementos de madera. Normalmente son de forma rectangular. En la parte superior de las aberturas se usa un dintel. Los dinteles generalmente son de madera y se colocan varias piezas una a la par de otra, formando una viga.

3.2.4. Cimentaciones

Los cimientos son generalmente piedra unida con un mortero a base de cal, aunque en algunos lugares de la república se ha utilizado una especie de cimiento corrido con tierra, agregados de cal y cemento. Algunas estructuras de adobe se levantan encima de una pieza de madera.

3.2.5. Elementos principales y secundarios

Los elementos principales se caracterizan por soportar las cargas, mientras que los elementos secundarios son los que no soportan cargas, tal es el caso de tabiques interiores, barandas y similares.

3.3. Sistemas estructurales

Los principales sistemas estructurales que se pueden desarrollar con este tipo de material, son limitados en comparación con materiales de uso más

comercial como el concreto o el acero, sin embargo la gama de sistemas es variada y se encuentran los siguientes:

3.3.1. Estructuras tipo cajón

Este tipo de estructura está conformada por un conjunto de paredes (mínimo cuatro), enlazadas entre sí en forma perpendicular, constituyendo conjuntos cerrados rectangulares o cuadrados. Es muy común en viviendas.

3.3.2. Estructura en C

Las estructuras tipo C, se caracterizan por estar formadas por tres muros unidos perpendicularmente, formando en planta una C. La geometría de este tipo de estructuras hace que sea menos resistente a fuerzas laterales, sobre todo en los extremos libres.

3.3.3. Tipos de techo

El sistema de techo que generalmente se usa sobre los muros de adobe, consiste en vigas o armaduras de madera, cubiertas de lámina galvanizada, teja o paja.

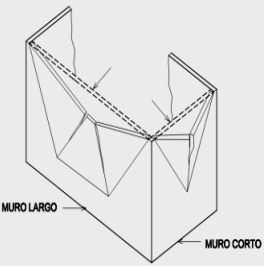
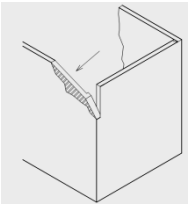
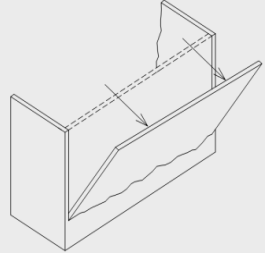
Un sismo induce grandes fuerzas horizontales sobre un techo de teja como consecuencia del peso de este tipo de cubierta.

Por falta de un buen amarre entre el techo y los muros de adobe pueden tenerse fallas en la estructura.

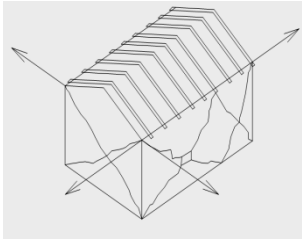
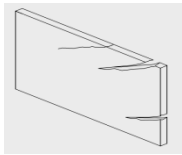
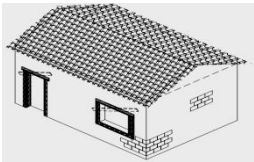
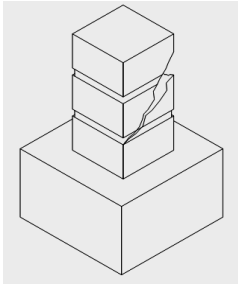
3.4. Descripción de fallas en construcciones de adobe

A continuación se describen las fallas en estructuras de adobe, referidas a cada falla según el elemento constructivo, acompañada de un esquema y un código a utilizarse en el formato de evaluación de daño.

Figura 41. Descripción de fallas en construcciones de adobe

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|---|--|
| 05.01 | Muros | Este tipo de falla se presenta en paredes o muros que no poseen refuerzo para resistir cargas horizontales en la parte alta. Un sismo induce fuerzas horizontales sobre el techo, que pueden producir grietas en la parte alta central del muro, particularmente si el techo es pesado. (Falla por flexión). |  El diagrama muestra un muro con un techo. Una línea de puntos indica la posición original del muro, y una línea sólida muestra su posición después de haberse curvado hacia adentro en la parte superior central. Una grieta se abre en la parte superior central del muro. Se etiquetan 'MURO LARGO' y 'MURO CORTO'. |
| 05.02 | Muros | Este tipo de falla ocurre en muros que no poseen amarre adecuado en las uniones con muros perpendiculares causando grietas directamente en la esquina superior de las paredes. (Falla por tensión). |  El diagrama muestra la esquina superior de un muro donde se encuentra con otro muro perpendicular. Una grieta se abre directamente en la esquina superior del muro principal. |
| 05.03 | Muros | Este tipo de falla se da en muros largos, especialmente si no están bien ligados a muros perpendiculares, causando grietas verticales en los extremos de las paredes. En algunos casos se da el volcamiento completo del muro. (Falla por flexión o volcamiento) |  El diagrama muestra un muro largo que se está volcando hacia adentro. Una línea de puntos indica la posición original vertical del muro, y una línea sólida muestra su posición inclinada. Se muestran grietas verticales en los extremos del muro. |

Continuación de la figura 41.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|--|---|
| 05.04 | Muros | Este tipo de falla sobresale en muros y alrededor de puertas y ventanas, generalmente cuando el sismo actúa en forma paralela a la pared. Por lo regular se presentan grietas en diagonal, tal como se muestra en la figura. (Falla por cortante). |  |
| 05.05 | Muros | Las fallas por asentamiento no uniforme producen grietas diagonales en los muros. (Falla por asentamiento). |  |
| 05.06 | Dinteles | Las fallas en dinteles se manifiestan por el deslizamiento que sufren estos elementos. Se puede presentar desprendimiento total o parcial del dintel. (Falla en dinteles). |  |
| 05.07 | Columnas | Las fallas en columnas de adobe frecuentemente se producen por cortante. Se manifiestan por la presencia de grietas generalmente en la parte superior. También se presentan fallas por flexión, apareciendo grietas horizontales en la parte central o interior de columnas. (Falla en columnas). |  |

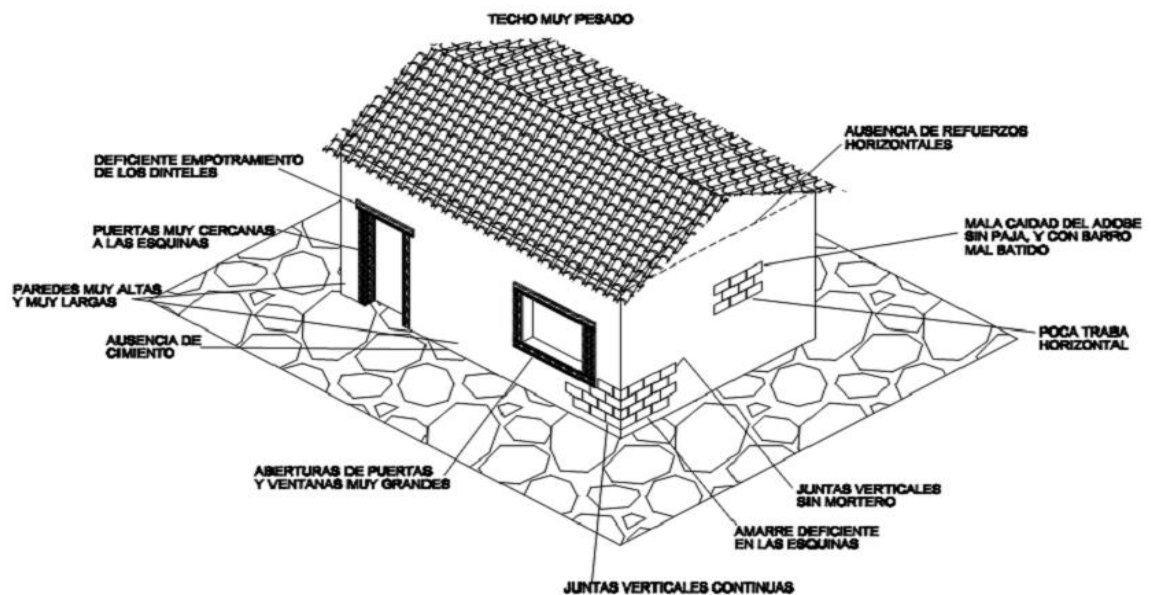
Fuente: elaboración propia.

En el figura 41 se presentan detalladamente los tipos de elementos de adobe, la descripción de las fallas que este material muestra y un esquema para cada falla. Así mismo se le adjudica un código a cada tipo de falla por elemento, dicho código será utilizado en el formato de evaluación de daños presentado en la figura 22.

3.5. Evaluación de daños

En esta parte, se plantea al evaluador los elementos que debe considerar en la evaluación de una estructura de adobe. Anteriormente se hizo referencia a las fallas que pueden presentarse en los elementos. En la figura 42 se muestra un esquema de una construcción típica de adobe, en la cual se señalan los sectores donde frecuentemente se producen daños a la estructura.

Figura 42. Construcción típica de adobe



Fuente: elaboración propia.

Apoyándose en el esquema anterior, el evaluador debe basar su evaluación en los siguientes aspectos:

- Interacción suelo estructura. En esta parte el evaluador debe observar si existen:
 - Grietas en el suelo alrededor de la base de la estructura.
 - Evidencias de inclinación del edificio.
 - Evidencias de deslizamiento de la cimentación respecto del suelo.

- Cimentación. En esta parte el evaluador debe observar:
 - Si existe evidencia de daños en la cimentación.

- Paredes. En esta parte el evaluador debe observar si existen:
 - Grietas horizontales.
 - Grietas verticales.
 - Daño en las esquinas (rotura, separación, desplazamiento, colapso).
 - Qué porción de la pared sufrió un daño mayor, en la parte media, superior o inferior.
 - Daño alrededor de puertas, ventanas y dinteles.
 - Daños por efecto del peso del techo.

- Techo. El evaluador debe observar:
 - Tipo de techo (una vertiente, dos vertientes o cuatro vertientes).
 - Cobertura del techo (lámina, teja, fibrocemento, paja).

- Daños en armaduras de madera o acero que sostienen el techo. Para evaluar madera consultar capítulo 6 y para evaluar acero consultar capítulo 5.
- Desprendimiento de la cobertura del techo.

El evaluador se referirá al capítulo 2, la parte inicial de este capítulo y la sección 3.4, que detalla las fallas en construcciones de adobe, las etiquetas a colocar están definidas según el estado de la edificación y se identifican por colores como; verde, amarillo, amarillo con rojo, rojo y morado. Ver tabla V.

El evaluador colocará una etiqueta verde, cuando después de la inspección no encuentra ningún tipo de falla que represente peligro aparente, en la estructura ni en el suelo adyacente.

El evaluador colocará una etiqueta amarilla cuando a su criterio lo considere pertinente en función de que:

- Existan fisuras menores en la parte alta central de paredes
- Existan fisuras menores en esquinas superiores de paredes perpendiculares.
- Existan fisuras menores alrededor de puertas, ventanas, dinteles y paredes.
- Alguna sección del techo haya sufrido algún daño menor que no afecta seriamente a la estructura. Ejemplo, desprendimiento de tejas.

El evaluador colocará una etiqueta amarilla con rojo, cuando la edificación tiene daños que representen peligro localizado solo en una porción de la estructura, mientras el resto se considera seguro. Esa porción de la edificación debe ser acordonada y no se deberá ingresar al área. Se requiere evaluación adicional por un especialista.

El evaluador colocará una etiqueta roja cuando a su criterio considere que la edificación posee daño severo y represente peligro inminente basándose en que existan:

- Grietas considerables en la parte superior central de las paredes.
- Grietas mayores en las esquinas, y se considera un posible derrumbamiento de paredes y techos.
- Grietas verticales en los puntos de unión de muros.
- Grietas severas alrededor de puertas, ventanas y/o dinteles.
- Grietas diagonales en columnas.
- La estructura del techo ha sido significativamente dañada y/o deformada.

Para la colocación de una etiqueta morada se requiere que exista peligro por daños geotécnicos aparentes y se recomienda una evaluación por un especialista.

Algunos daños de esta categoría son los siguientes:

- Posibilidad de un desplazamiento de suelos adyacentes a la estructura.
- Evidencia de deslizamiento de la cimentación.
- Asentamiento.
- Corrimiento de suelos.
- Derrumbes cerca de la estructura.
- Licuefacción.

En la parte E8, el evaluador puede hacer anotaciones de aspectos que consideren importantes.

Se elaborará en el cuadro E9 un esquema de la planta de la edificación, orientándola en relación al norte y ubicando los puntos dañados, además de detalles que considere de interés.

3.6. Generalidades de la mampostería

Las edificaciones de mampostería están hechas con base en la unión de bloques por medio de morteros, pueden estar reforzados o no con elementos de acero y concreto.

Los bloques con los cuales generalmente están hechas las edificaciones de mampostería son:

- Block de piedra pómez
- Block de concreto
- Ladrillo de barro cocido
- Block de granito (no muy usual)

En ocasiones se ha usado la piedra para hacer edificaciones de mampostería; por las características de ese material, éste no será incluido en la realización de ésta guía.

Existen dos formas de edificar las estructuras de mampostería, esto es: mampostería reforzada y mampostería sin refuerzo. Como su nombre lo indica, la mampostería reforzada incluye elementos de refuerzo hechos de concreto y acero, los que no existen en la mampostería sin refuerzo.

Las edificaciones de mampostería, generalmente constan de una estructura más elementos secundarios. La estructura principal es aquella que soporta las cargas. Los elementos secundarios son todos aquellos que no soportan cargas, excepto su peso propio.

3.7. Elementos

Los elementos que frecuentemente se construyen con mampostería, son columnas y muros. Los muros pueden ser de carga, corte, aislados o tabiques. A continuación se da una breve definición.

Las columnas son elementos esbeltos y aislados, siendo su función principal soportar cargas verticales. Generalmente son de sección cuadrada ligeramente rectangular.

Los muros de carga son aquellos cuya función principal, es soportar las cargas verticales.

Los muros de corte son aquellos cuya función principal, es absorber fuerzas de corte (fuerzas horizontales en el plano principal del muro), además de cargas verticales.

Los tabiques son aquellos muros cuya función solo es hacer divisiones interiores y no reciben más que su peso propio.

Como muros aislados se toman aquellos que no están ligados a otros muros o contrafuertes. Frecuentemente su función es delimitar propiedades en cuyo caso se les conoce también como muros perimetrales.

Existen también: cimientos, arcos, cúpulas y bóvedas de mampostería. La práctica de su construcción ha disminuido gradualmente.

Los elementos de mampostería pueden combinarse en una edificación con losas, gradas, cimientos, columnas y vigas de concreto; gradas, columnas y vigas de acero; gradas, columnas y vigas de madera; entresijos y techos de estructura metálica, de madera o con combinaciones.

3.8. Sistemas estructurales

Existen básicamente los siguientes tipos: estructuras tipo cajón, estructuras en C, L o T y muros largos aislados.

Las estructuras tipo cajón, son aquellas en que los muros adoptan la forma de cuadrados y/o rectángulos cerrados, sencillos o múltiples. Generalmente los ángulos en que se intersecan los muros son de 90 grados. Los muros se complementan con entrepisos y/o techos.

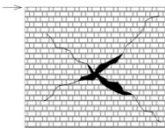
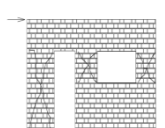
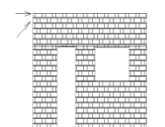
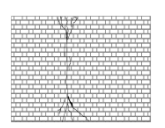

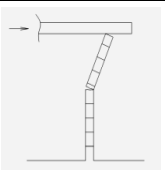
Las estructuras en C, L o T son aquellas que en planta adoptan precisamente esas formas, la estructura se complementa por medio de losas de entrepisos y/o techos. Se consideran como estructuras abiertas.

Los muros largos aislados, carecen de muros que se intersecten perpendicularmente a ellos, se usan como muros perimetrales u otros casos similares.

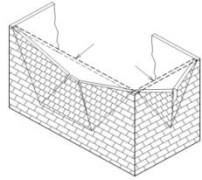
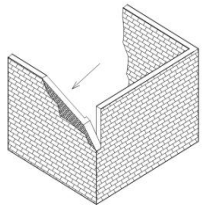
3.9 Descripción de fallas en estructuras de mampostería

Para clasificar los posibles daños sufridos por estructuras de mampostería, se presenta a continuación en la figura 43 la descripción de fallas en mampostería, esquema de fallas y codificación de estas.

Figura 43. Descripción de fallas en construcciones de mampostería

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|---|---|
| 06.01 | Muros | Grietas que se cruzan formando ángulos de aproximadamente 45 grados con respecto a la horizontal. El cruce de grietas tiende a localizarse en la parte central del muro. Es ocasionada por fuerzas laterales en el plano del muro. |  |
| 06.02 | Muros | Falla en los muros con vanos de puertas, ventanas u otros. Las grietas se producen en forma de X, distribuidas en los espacios entre vanos. Es ocasionada por fuerzas laterales en el plano del muro. |  |
| 06.03 | Muros | Grietas horizontales en la parte superior o inferior de las regiones entre vanos. Es ocasionada por fuerzas laterales en el plano del muro o en el plano horizontal perpendicular al plano del muro. |  |
| 06.04 | Muros | Grietas que forman líneas verticales al centro con diagonales en las zonas de contacto con losas y muros. Eventual separación de los bloques por las sisas, atascamiento de puertas y ventanas. Se produce por asentamientos diferenciales. |  |
| 06.05 | Muros | Volteo parcial o total de todo el muro. Formación de grietas horizontales. Dependiendo de la severidad del daño el suelo puede verse afectado, mostrando grietas, asentamientos o levantamientos. Es ocasionada por fuerzas en el plano horizontal perpendicular al plano del muro. |  |
| 06.06 | Muros | Volteo parcial del muro. Formación de grietas horizontales a lo largo de la zona de volteo. Es ocasionada por fuerzas en el plano horizontal perpendicular al plano del muro. |  |

Continuación de la figura 43.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|--|---|
| 06.07 | Muros | Falla en muros que no poseen refuerzo contra cargas horizontales (sin diafragma horizontal). Es ocasionada por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro. |  |
| 06.08 | Muros | Falla que ocurre en muros que no poseen un amarre adecuado en las uniones con muros perpendiculares (no está ligado a diafragma). Es ocasionada por fuerzas horizontales perpendiculares al plano del muro. |  |

Fuente: elaboración propia.

En el la figura 43 se presentan detalladamente los tipos de elementos de mampostería, la descripción de las fallas que este material presenta y un esquema para cada falla. Así mismo, se le adjudica un código a cada tipo de falla por elemento, dicho código será utilizado en el formato de evaluación de daños presentado en la figura 22.

3.10. Evaluación de daños

Como primer paso, el evaluador deberá llenar el formato de evaluación parte E1 (ver capítulo 2), con los datos generales de la edificación y de la evaluación.

A continuación se realizará una inspección exterior de la edificación y sus alrededores, rodeándola de ser posible, y observando cuidadosamente

cualquier indicio de falla. Con esta inspección el evaluador determinará si es prudente ingresar, para terminar la evaluación. Si no es adecuado ingresar, se deberá proceder a etiquetar la edificación como no habitable. Con esta información el evaluador deberá llenar el cuadro E2.

Posteriormente deberán evaluarse los daños geotécnicos, si existieran, de acuerdo al cuadro E3.

El evaluador describirá cuidadosamente en el cuadro E4, los tipos de elementos de la edificación.

En el cuadro E5 deberá marcarse con una X el cuadro respectivo, de acuerdo a si se considera dañado o no el elemento. En la parte para comentarios el evaluador deberá escribir el código de la falla de acuerdo al cuadro de descripción de fallas en mampostería.

Cuando existan grietas, el evaluador deberá acercarse lo más posible para poder decidir si se trata de daño estructural o arquitectónico. El evaluador deberá juzgar la severidad del daño de acuerdo a su criterio.

Los daños también deberán evaluarse a nivel de cimentación, observando cuidadosamente si hay asentamientos o levantamientos del suelo, grietas o posible inclinación de los muros.

En el cuadro E6 (comentarios), el evaluador deberá anotar comentarios referentes a la edificación, tales como: fallas repetitivas, fallas en todos los muros en una dirección, voltéo de la estructura, defectos constructivos, daños en cúpulas, arcos, bóvedas, y cualquier otro comentario que no esté contenido en los cuadros E4 y E5 y que a juicio del evaluador sean relevantes.

La clasificación del daño estructural sufrido, deberá hacerse de acuerdo a la tabla de clasificación que aparece en el formato de evaluación cuadro E7. El evaluador clasificará los daños en la edificación de acuerdo a su criterio y las recomendaciones siguientes.

Al no observar daño que represente peligro a la estructura, esta deberá etiquetarse con color verde, (ver parte E7).

Si la edificación tiene elementos como cúpulas, arcos, bóvedas, etcétera., y estos están dañados. Se deberá colocar etiqueta color amarillo para que un especialista dictamine posteriormente.

Cuando sean evidentes los daños y representen peligro se procederá a etiquetar con color amarillo. Se recomienda la evaluación posterior por un especialista.

En el caso de daños presentes en un área específica de la estructura, mientras otra área se encuentra en buen estado, se procederá a acordonar el área dañada, clasificando la edificación con etiqueta amarilla con rojo. Se recomienda la evaluación posterior por un especialista.

Los daños severos en una estructura, bien sea en un área o en la totalidad de ésta, obligaran al evaluador a colocar la etiqueta color rojo.

De observarse daño geotécnico, se deberá etiquetar con color morado adicionalmente a la etiqueta roja. Se recomienda la evaluación posterior por un especialista.

El cuadro E8, el evaluador deberá anotar las recomendaciones que crea necesarias o convenientes.

En el cuadro E9 el evaluador dibujará un esquema general de la edificación. Anotando la localización de las fallas. Deberá orientar el esquema con respecto al norte. Si es posible dibujará detalles que considere necesarios por su importancia. Si a su juicio es necesario, se podrán adjuntar hojas con esquemas y detalles.

Para la evaluación de fallas en los elementos de acero, concreto o madera, referirse a los siguientes capítulos: concreto reforzado (capítulo 4), concreto prefabricado (capítulo 4), acero (capítulo 5) y madera (capítulo 6).

4. ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO Y PREFABRICADO

4.1. Generalidades del concreto reforzado

Los edificios de concreto reforzado, están estructurados por combinaciones de cimientos, vigas, columnas, muros, losas, gradas, etcétera. su respuesta ante sismos depende, entre otras, de las características de masa y rigidez de los sistemas estructurales. Son importantes también la resistencia, el amortiguamiento y la capacidad de absorción de energía.

4.2. Elementos

Los elementos constructivos empleados en la actualidad, que integran una estructura, enfocados en los principales y más utilizados en Guatemala y el uso del concreto reforzado son:

4.2.1. Columnas

Son los miembros sometidos a compresión. Frecuentemente sirven para apoyar en ellas las vigas. Trasmiten la carga de los pisos superiores hasta la planta baja y después al suelo a través de la cimentación.

4.2.2. Vigas

Elementos cuya función es soportar cargas perpendiculares a su eje longitudinal, generándose esfuerzos de flexión y de cortante.

4.2.3. Losas

Además de su función principal como elementos resistentes a cargas verticales, las losas de piso actúan como diafragmas horizontales que distribuyen las fuerzas laterales a los elementos estructurales verticales que tienen que resistirlas.

4.2.4. Muros

Son aquellas estructuras compuestas por bloques de diversos materiales, cuya función primordial es el cerramiento de ambientes, el soporte y la transmisión de cargas de superestructuras hacia las subestructuras. Los más usuales pueden clasificarse como:

- Muros de carga: se puede definir como muros de carga aquellos que soporten cargas verticales, además de su propio peso y transmiten estas cargas a la estructura inferior inmediata.
- Muros de corte: son aquellos muros que además de resistir cargas verticales son capaces de soportar fuerza cortante en la base y son utilizados para aportar rigidez a una estructura.

4.2.5. Gradadas

Son los elementos de enlace que sirven para establecer un acceso o comunicación entre distintos niveles o plantas de una edificación. La disposición más sencilla para una escalera de concreto reforzado, consiste en una losa inclinada, provista de peldaños contruados en su cara superior y soportada por

elementos estructurales, tales como muros, columnas o vigas. También hay escaleras con peldaños en voladizo soportados por vigas.

4.2.6. Cimientos

La cimentación, es la parte de la estructura que recibe la totalidad de las cargas vivas y muertas, está situada debajo de la superficie del terreno y transmite las cargas al suelo.

4.3. Sistemas estructurales

Los principales y más utilizados sistemas estructurales que se pueden desarrollar en Guatemala y América Central con este tipo de material pueden ser clasificados de la siguiente manera:

4.3.1. Marcos rígidos

Uno de los principales sistemas estructurales que se emplea en edificaciones de concreto reforzado, son los marcos rígidos. Estos están conformados por vigas y columnas, unidas rígidamente, es decir que no cambia el ángulo entre los elementos, cuando el marco se deforma. Tanto las vigas como las columnas sufren flexión al actuar las cargas, sean estas verticales u horizontales. En los marcos rígidos la unión viga-columna es de gran importancia, no tiene sentido emplear elementos fuertes, rígidos y dúctiles si no se unen en forma apropiada.

4.3.2. Marcos rígidos y muros de corte

Sistema estructural en el cual se combinan muros de corte con marcos rígidos. Ofrece gran resistencia a cargas laterales, debido a la gran rigidez que el muro aporta.

4.3.3. Estructuras tipo cajón

Son sistemas estructurales en los cuales se combinan muros de carga y losas, formando cajones cerrados monolíticamente, se comportan como un todo y reaccionan de muy buena manera ante un sismo.

4.3.4. Estructuras especiales

En forma muy breve se mencionan a continuación algunos ejemplos de estructuras especiales de concreto, dada la facilidad que este material presenta al momento de la fundición, es posible desarrollar formas geométricamente difíciles de llevar a cabo con otros materiales.

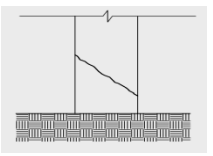
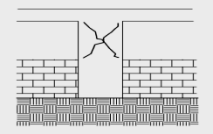
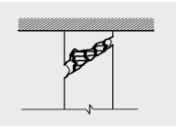
- Cascarones: estructuras especiales, conformadas por losas curvas (espesor pequeño en comparación con sus otras dimensiones), la misma curvatura que presenta estas losas incrementa considerablemente la capacidad de carga y desarrollo de grandes luces.
- Bóvedas: losa curva (semicircular o parabólica) siguiendo una directriz recta, que básicamente se apoya en 2 extremos de la losa, por lo tanto las longitudes de esta pueden ser de grande dimensiones.

- Tanques enterrados: sistema formado por muros y losas, diseñados para contener grandes masas de fluidos, por lo general son destinados para almacenamiento o tratamiento de agua y derivados del petróleo.
- Tanques elevados: sistema formado por muros y losas, generalmente cónicas en su base, para contener grandes masas de fluidos, son destinados generalmente a la distribución de agua y son sostenidos por muros o marcos rígidos.

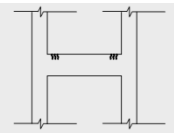
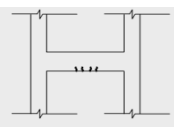
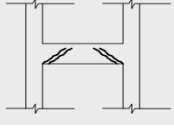
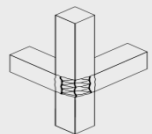
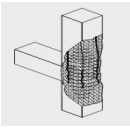
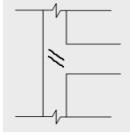
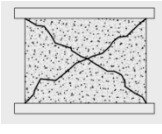
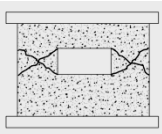
4.4. Descripción de fallas de concreto reforzado

A continuación se describen las fallas en estructuras de concreto reforzado, con cada descripción de falla se presenta un esquema de la misma y un código que la representará en el formato de evaluación de daños.

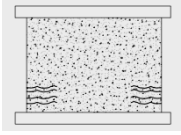
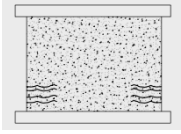
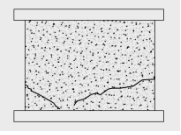
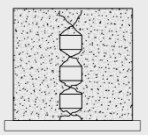
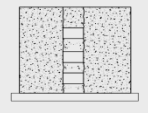
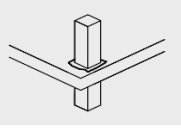
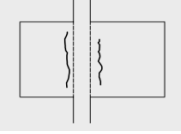

Figura 44. **Descripción de fallas en construcciones de concreto reforzado**

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|---|---|
| 07.01 | Columnas | Grietas aproximadamente a 45 grados en los extremos de las columnas; puede o no haber desprendimiento del concreto y exposición del refuerzo. (Falla por cortante). |  |
| 07.02 | Columnas | Grietas a 45 grados formando una X en la parte de la columna que no está restringida por muros laterales. (Falla en columnas cortas). |  |
| 07.03 | Columnas | Fractura y desprendimiento del concreto, exposición y deformación del refuerzo en los extremos de la columna. (Falla por flexocompresión). |  |

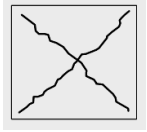
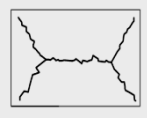
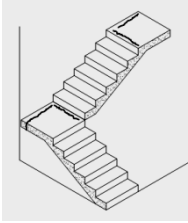
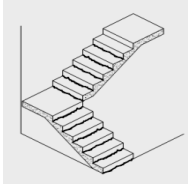
Continuación de la figura 44.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|----------------------|---|---|
| 07.04 | Vigas | Fisuras perpendiculares al eje de la viga, en la parte superior de los extremos de la misma. (Falla por momento negativo en los extremos de las vigas). |  |
| 07.05 | Vigas | Fisuras perpendiculares al eje de la viga en la parte inferior del tercio medio del claro. (Falla por momento positivo). |  |
| 07.06 | Vigas | Grietas inclinadas aproximadamente a 45 grados en los extremos de las vigas. (Falla por corte). |  |
| 07.07 | Uniones viga-columna | Desprendimiento del concreto, pandeo y exposición del refuerzo longitudinal de la columna. (Falla por compresión por falta de confinamiento). |  |
| 07.08 | Uniones viga-columna | Desprendimiento del concreto, pandeo y exposición de refuerzo de la unión. (Falla por momento flector). |  |
| 07.09 | Uniones viga-columna | Grietas a 45 grados en la unión. (Falla por corte). |  |
| 07.10 | Muros de corte | Grietas a 45 grados formando una X. (Falla por corte). |  |
| 07.11 | Muros con aberturas | Grietas a 45 grados formando una X en las partes del muro que rodean la abertura. (Falla por corte en muros con abertura). |  |

Continuación de la figura 44.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|---|---|---|
| 07.12 | Muros de corte (y muros de corte acoplados) | Grietas casi horizontales en los extremos de la base del muro. (Falla por flexión). |  |
| 07.12 | Muros de corte (y muros de corte acoplados) | Grietas casi horizontales en los extremos de la base del muro. (Falla por flexión). |  |
| 07.13 | Muros de corte (y muros de corte acoplados) | Grietas aproximadamente a 45 grados en los extremos de la base del muro. (Falla por cortante). |  |
| 07.14 | Muros de corte acoplados | Grietas a 45 grados formando una X en las vigas que unen las dos porciones de muro. (Falla por tensión diagonal en vigas de acoplamiento). |  |
| 07.15 | Muros de corte acoplados | Grietas verticales en los extremos de la viga de acople. (Falla por corte deslizante). |  |
| 07.16 | Losas | Grietas alrededor de la columna siguiendo la geometría de esta. (Falla por punzonamiento en losas sin vigas). |  |
| 07.17 | Losas | Fisuras en la parte superior cerca del apoyo y paralelas a este. (Falla por momento negativo en losas continuas). |  |
| 07.18 | Losas | Grietas longitudinales al centro, en la cara inferior de la losa. (Falla por flexión en losas en un sentido). |  |

Continuación de la figura 44.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|--|---|
| 07.19 | Losas | Grietas en la cara inferior a 45° formando una X. (Falla por flexión en losa cuadrada apoyada en los cuatro bordes). |  |
| 07.20 | Losas | Grietas a 45° unidas por una grieta longitudinal, en la cara inferior. (Falla por flexión en losa rectangular apoyada en los cuatro bordes). |  |
| 07.21 | Gradas | El evaluador debe observar cuidadosamente los elementos que soportan las escaleras, si estos presentan alguna falla o si existen grietas entre las escaleras y los elementos de apoyo debe considerarlas peligrosas para el usuario. (Falla en apoyos). |  |
| 07.22 | Gradas | Grietas longitudinales entre la huella y contrahuella de las gradas, próximas a los descansos. (Falla en escalones). |  |

Fuente: elaboración propia.

En la figura 44 se presentan detalladamente los tipos de elementos de concreto reforzado, la descripción de las fallas que este material presenta y un esquema para cada falla. Así mismo se le adjudica un código a cada tipo de falla por elemento, dicho código será utilizado en el formato de evaluación de daños presentado en la figura 22.

4.5. Evaluación de daños

El evaluador anotará en el cuadro E5 del formulario de evaluación (ver capítulo 3) todos los daños encontrados, anotando su respectivo código de acuerdo con la figura 44.

El evaluador, tomando en cuenta las diferentes fallas que haya encontrado, aplicará su criterio para determinar el grado de riesgo que presenta la estructura, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Estructura principal: conjunto de elementos estructurales que soportan cargas (muertas y vivas) y que puedan soportar cargas laterales.
- Estructura secundaria: elementos tales como muros de cerramiento, tabiques, ventanearía, instalaciones y similares.
- Fisura: abertura de hasta 0,15 mm.
- Grieta: abertura mayor de 0,15 mm.
- Daño severo: grietas con exposición de refuerzos.

De observarse daños geotécnicos (ver capítulo 2). Se colocará etiquetas roja y morada.

Si la estructura principal (marcos rígidos, losas, muros de corte, muros de carga) y elementos secundarios (muros de cerramiento, gradas, instalaciones, ventanearía, tabiques, etcétera), no presentan daños, la edificación es habitable. Se colocará etiqueta verde.

Cuando existan solo fisuras en muros de cerramiento, y/o daños menores en tabiques, instalaciones, ventanería, cielos falsos, o elementos semejantes, la edificación puede a juicio del evaluador considerarse habitable. Se colocará etiqueta verde.

Al observarse daños en muros de cerramiento, tabiques, instalaciones, ventanería, cielos falsos, o elementos semejantes, considerando que representan peligro a los ocupantes, se permitirá el ingreso solo a personal calificado. Se colocará una etiqueta de color amarillo.

Si existen daños en gradas y/o se observan fisuras en elementos estructurales tales como: muros de carga, losas y/o vigas, se permitirá el ingreso solo a personal calificado. Se colocará una etiqueta de color amarillo. Se recomienda efectuar una inspección por un especialista.

La presencia de fallas severas (grietas con exposición de refuerzo), en estructuras dependientes contiguas a la edificación o solo en un área determinada de la misma, y no existen daños en el resto de la estructura, se colocará una etiqueta color amarillo con rojo. Se recomienda acordonar el área con daño severo.

La exposición de refuerzos 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 un peligro inminente, se permitirá el ingreso solo a personal calificado y se acordonará el área con daño severo. Se colocará una etiqueta color amarillo con rojo. Se recomienda efectuar una inspección por un especialista.

El daño en la estructura principal (elementos de marcos rígidos, unión viga-columna, muros de corte, muros de carga y/o losas), considerando que la misma representa peligro inminente, la edificación se calificará como no habitable. Se colocará etiqueta roja.

El evaluador anotará en la parte E8 del formulario, las acciones que a su juicio y para seguridad de los moradores deberán tomarse, tales como apuntalamientos, demoliciones totales o parciales, reparaciones en instalaciones, o cualesquier otra recomendación pertinente.

En la parte E9 del formulario se deberá elaborar un esquema de la planta de la edificación, orientada en relación al norte y/o algún detalle de la elevación, con la ubicación de los daños más significativos.

4.6. Generalidades del concreto prefabricado

Por la creciente demanda de vivienda de tipo económico y otras edificaciones que sean fáciles y rápidas de construir, se ha visto incrementada la construcción en concreto prefabricado.

El concreto prefabricado consiste en elementos de concreto, preesforzados o no, que son fundidos en un lugar distinto al de su ubicación final.

Los prefabricados de concreto, dependiendo del uso específico que se les vaya a dar, pueden ser tres tipos, siendo estos:

- Prefabricados con refuerzo simple sin preesfuerzo
- Prefabricados con preesfuerzo

- Prefabricado postensados

Los prefabricados con refuerzo simple sin preesfuerzo, son elementos comúnmente usados en construcciones como edificios, viviendas unifamiliares, cercos de cerramientos, fachadas, etcétera.

Los prefabricados con preesfuerzo o postensados, se usan en estructuras como puentes, muros de contención, edificios de varios niveles, etcétera.

4.7. Elementos

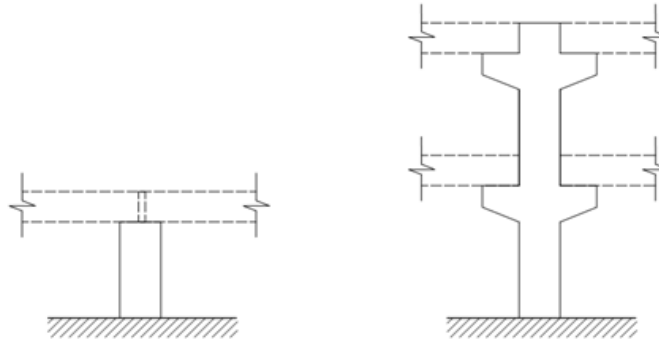
Los elementos constructivos que integran una estructura, enfocados en el uso del concreto prefabricado son variados, se abarcaran los principales y más comerciales elementos utilizados en el país a continuación:

4.7.1. Columnas

Existe una gran variedad de columnas, siendo la más común, la de sección transversal rectangular. Su altura es generalmente de uno o dos niveles.

Si se utilizan columnas con altura de un nivel, las vigas se apoyan en la parte superior de las mismas. En el caso de columnas continuas de dos niveles se emplean ménsulas integrales para proporcionar apoyo a vigas o losas (figura 45).

Figura 45. **Columnas de concreto prefabricado**



Fuente: elaboración propia.

4.7.2. **Muros**

Hay gran diversidad de muros, dependiendo del requisito arquitectónico y del sistema estructural del que forman parte. Pueden ser sólidos o con aberturas para puertas y ventanas. Estos elementos se caracterizan por poseer una gran rigidez en su plano y por lo tanto resisten grandes fuerzas laterales.

Dependiendo de la función que cumplan como elemento de un sistema estructural pueden ser:

- Muros de carga o portantes: son muros encargados de soportar cargas gravitacionales y su peso propio.
- Muros no portantes: solamente soportan su propio peso.
- Muros de corte: son elementos que resisten fuerzas laterales, en el plano del muro.

Dependiendo de su ubicación dentro del complejo constructivo, los muros pueden ser:

- Muros de cerramiento: son los muros exteriores de la estructura y su función es la de cerrar espacios. Estos pueden ser de carga, no portantes y/o de corte.
- Tabiques: son los muros interiores de un edificio, que se utilizan para subdividir el área de piso y son muros no portantes.
- Muros de sótanos: se utilizan como muros de contención en sótanos de edificios. Generalmente tienen grandes dimensiones y frecuentemente son preesforzados. Pueden formar parte del sistema estructural como muros de carga.

4.7.3. Paneles de fachada

Son elementos usados como cubierta exterior de edificios, principalmente en estructuras de marcos rígidos de concreto o de acero. Los paneles pueden incluir ventanería u otro tipo de acabados arquitectónicos. Son elementos no estructurales y se apoyan en la estructura por medio de conexiones metálicas.

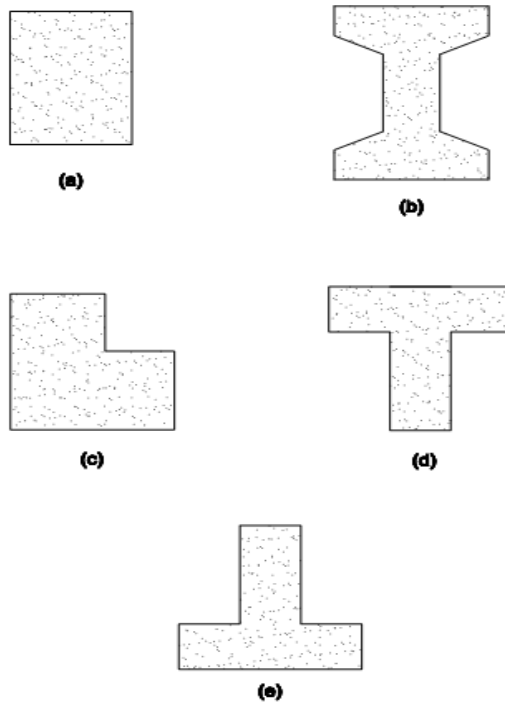
4.7.4. Vigas y viguetas

Las vigas y viguetas tienen formas y dimensiones muy variadas. Su geometría depende de varios factores, tales como; claro, carga y apoyo de vigas secundarias y/o losas.

Las vigas que más se usan son las simplemente apoyadas. Cuando se requiere continuidad en las uniones como en el caso de vigas continuas o en marcos rígidos, las vigas individuales se unen con los otros elementos, con refuerzo colocado después del montaje y con concreto fundido en obra.

Las formas más comunes de vigas y viguetas son las secciones rectangulares, I, L, T y sus variaciones (ver figura 46).

Figura 46. **Vigas de concreto prefabricado. Rectangular (a), I (b), L (c), T (d) y T invertida (e)**



Fuente: elaboración propia.

4.7.5. Cubiertas y entrepisos

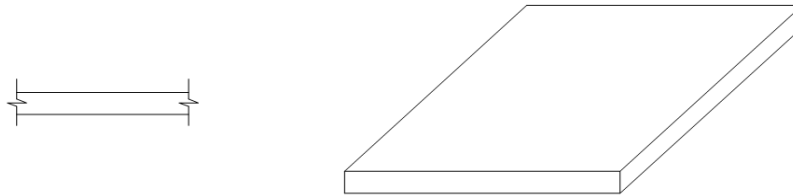
En concreto prefabricado, se utilizan básicamente dos tipos de cubiertas y entrepisos, que son:

- Losas planas y
- Losas nervuradas

4.7.5.1. Losas planas

Son losas sin vigas, soportadas directamente en vigas de borde, columnas o muros (figura 47).

Figura 47. **Losa plana**



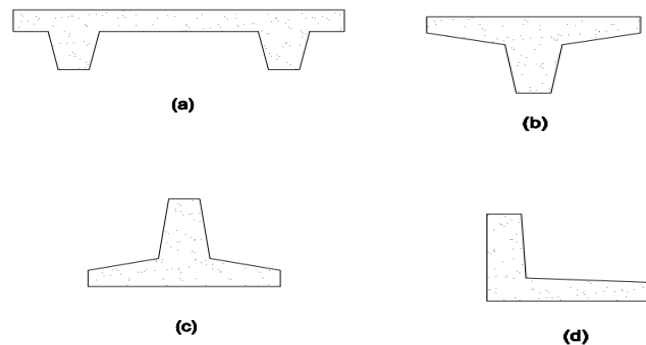
Fuente: elaboración propia.

4.7.5.2. Losas nervuradas

Son una combinación monolítica de viguetas regularmente espaciadas y una losa superior de mínimo espesor.

Las viguetas pueden estar colocadas en uno o dos sentidos ortogonales. Entre las formas más usadas están la doble T. y la T simple, la T invertida y la L (figura 48), así como el entrepiso o cubierta de múltiples viguetas (figura 49).

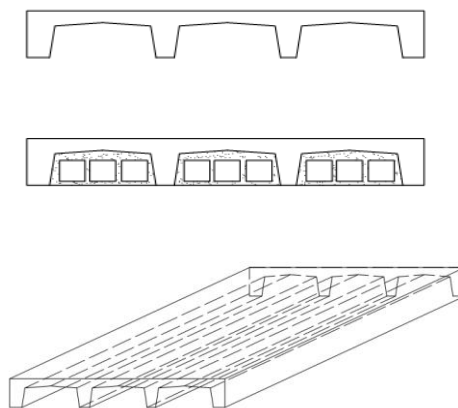
Figura 48. **Viguetas. Doble T (a), T simple (b), T invertida (c) y L (d)**



Fuente: elaboración propia.

El espacio entre viguetas puede quedar relleno de bloques de concreto liviano, sobre los cuales se funde la losa superior (figura 49).

Figura 49. **Losa nervurada**



Fuente: elaboración propia.

Los techos y entrepisos monolíticos con el resto de la estructura, son responsables de distribuir las cargas laterales a los elementos resistentes verticales, siendo su función principal el hacer trabajar todo el sistema estructural como una unidad. En este caso se les llama diafragmas horizontales.

4.7.6. Gradadas

Las gradadas prefabricadas generalmente son las inclinadas, que unen un piso inferior con otro de un nivel superior. Pueden colocarse con un extremo fijo y el otro extremo libre simplemente apoyado o también con ambos extremos fijos. Casi siempre van unidas por medio de platinas a la estructura de la cual forman parte.

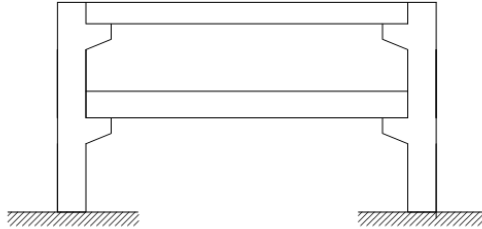
4.8. Sistemas estructurales

Los principales sistemas estructurales que se pueden desarrollar con este tipo de material; están constituidos básicamente por muros, marcos y la combinación de estos. A continuación se presentan estos sistemas:

4.8.1. Marcos

Los marcos son estructuras conformadas por columnas y vigas. Las vigas recibirán la carga de las losas y la transmitirán directamente a las columnas, las cuales a su vez transmitirán las cargas a los niveles inferiores o a la cimentación (figura 50).

Figura 50. **Marcos**



Fuente: elaboración propia.

4.8.1.1. Marcos con vigas simplemente apoyadas

En este tipo de estructura, las vigas están simplemente apoyadas en ménsulas integrales a las columnas o sobre las columnas directamente. Las uniones viga-columna, llevan elementos de acero con el objeto de asegurar la integridad de las conexiones, siendo éstas capaces de transmitir solamente reacciones verticales y horizontales. En este tipo de estructuras se hace necesario usar los marcos en combinación con muros de corte para resistir fuerzas laterales y será indispensable tener diafragmas horizontales.

4.8.1.2. Marcos rígidos

Son estructuras que tienen juntas o conexiones rígidas, que son capaces de resistir momentos, cargas verticales y cargas laterales.

Existen dos clases de marcos rígidos:

- Marcos con juntas resistentes a momento: estos son marcos que constan de vigas y columnas prefabricadas unidas con conexiones capaces de resistir momento.

- Marcos con vigas fundidas en obra y columnas prefabricadas: este tipo de marcos consta de columnas prefabricadas, fundiéndose en el lugar las vigas, lográndose con esto juntas rígidas y continuidad entre los elementos.

4.8.1.3. Marcos con muros de corte

Los marcos combinados con muros de corte, son sistemas estructurales formados por marcos y muros de corte, prefabricados o parcialmente fundidos en obra. Los muros de corte se adicionan a la estructura con el objeto de resistir fuerzas laterales. Generalmente están colocados en el perímetro de la estructura o formando parte de los núcleos de escaleras y/o elevadores.

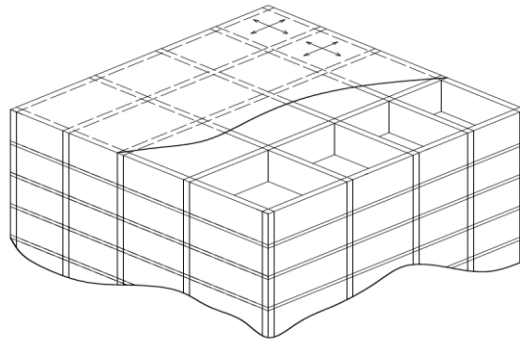
4.8.2. Estructuras tipo cajón

Las estructuras tipo cajón consisten en muros de corte en ambos ejes y losas como diafragmas horizontales, formando cajones. Las estructuras de este tipo son frecuentes en edificaciones de uno a cuatro niveles (figura 51).

En este caso, los muros son de carga y de corte simultáneamente.

Este tipo de estructuras se caracteriza por poseer gran resistencia a fuerzas laterales, siendo fundamental tener uniones adecuadas entre los elementos. Cuando se tienen configuraciones irregulares puede producirse torsión en la estructura.

Figura 51. **Estructura tipo cajón**



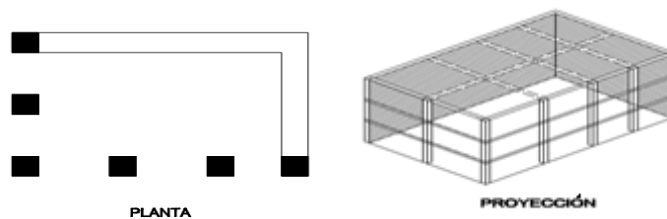
Fuente: elaboración propia.

Dependiendo de la forma en que se colocan los muros, existen dos variaciones de este sistema, que son:

4.8.2.1. **Estructuras tipo L**

Son estructuras en las cuales solo existen muros en dos lados continuos a 90 grados (figura 53). Cuando son afectadas por fuerzas laterales se produce mucha torsión y por lo tanto sobreesfuerzos muy apreciables en los elementos estructurales.

Figura 52. **Estructura tipo L**

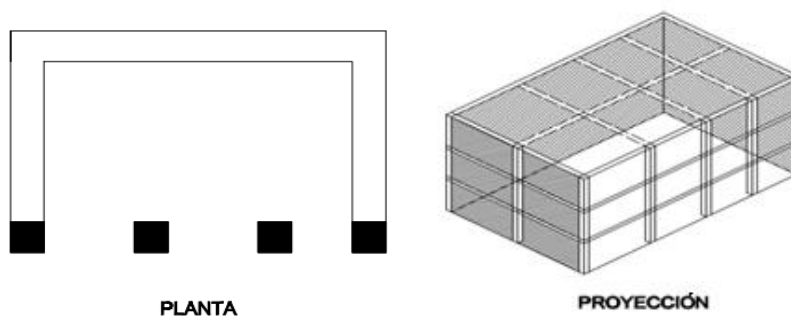


Fuente: elaboración propia.

4.8.2.2. Estructuras tipo C

Son estructuras en las cuales hay un lado libre de muros (figura 54). En este tipo de estructura, cuando se ve sometida a fuerzas laterales, se produce torsión, dando como resultado esfuerzos bastante elevados en elementos que pueden ser críticos en la estructura.

Figura 53. Estructura tipo C



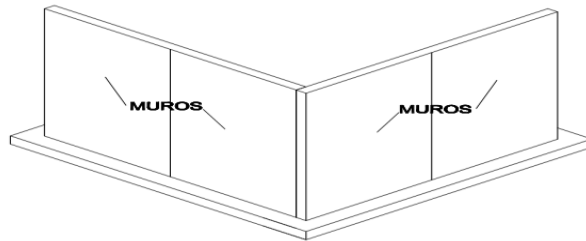
Fuente: elaboración propia.

4.8.3. Sistema *Tilt-up* (Muros de abatimiento vertical)

Este sistema constructivo, consiste en estructuras formadas por muros fundidos en posiciones horizontales y luego levantados a su posición final. Su altura puede ser de uno o dos niveles. Su función puede ser trabajar como muros de carga y/o muros de corte, o bien solo como cerramiento.

Su característica principal, es que los muros son de la altura total del edificio y están unidos con platinas metálicas y/o columnas de concreto fundidas luego de levantado de los muros. La cubierta o entrepiso puede ser una estructura metálica o de concreto (figura 55).

Figura 54. **Sistema *Tilt-up***



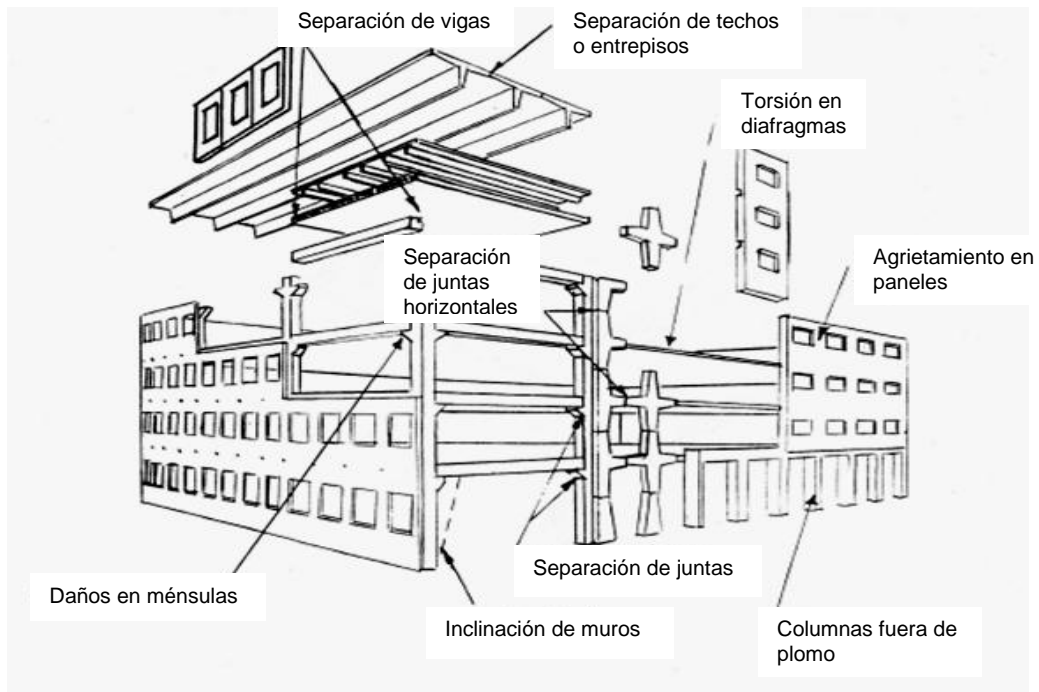
Fuente: elaboración propia.

4.9. Descripción de fallas en estructuras de concreto prefabricado

En las construcciones de concreto prefabricado, cuando se ven sometidas a fuerzas laterales, las fallas frecuentemente se presentan primero en las conexiones y no en los elementos prefabricados, siendo las uniones, de los elementos más vulnerables del sistema.

En una estructura de este tipo, hay puntos clave en los cuales un evaluador debe poner especial atención, siendo estos: juntas de vigas y columnas, posición de las columnas, estado de ménsulas, techos o entrepisos y paneles (figura 56).

Figura 55. **Inspección de puntos de falla en estructuras de concreto prefabricado**



Fuente: elaboración propia


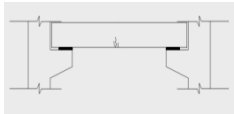
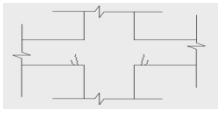


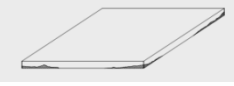
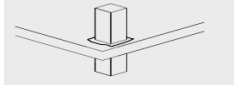
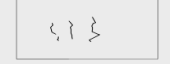
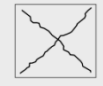
Como un caso especial deben de considerarse las fallas que se presentan en la cimentación. Pueden suceder por diversas causas, entre las que están las de origen geotécnico, asentamiento por mala compactación en rellenos y deslizamiento por agua subterránea, no debiendo descartarse fallas constructivas como errores en los anclajes, amarres inadecuados, etcétera.

Como una guía de las posibles fallas en los elementos y en las uniones entre elementos prefabricados de concreto, se presentan los detalles contenidos en la figura 56.

Figura 56. **Descripción de fallas en construcciones de concreto prefabricado**

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------------------------|---|---|
| 08.01 | Uniones Viga- Columna | Grietas inclinadas a 45 grados en nudos o cercanos a ellos, en una o dos direcciones. |  |
| 08.02 | Columnas | Grietas con desmoronamiento del concreto y exposición del refuerzo en la parte cercana a la unión viga-columna. |  |
| 08.03 | Columnas | Grietas inclinadas cerca del nudo con la viga, en forma de espiral. |  |
| 08.04 | Columnas | Grietas horizontales cercanas a uniones viga-columna debidas a flexión. |  |
| 08.05 | Ménsulas | Agrietamiento vertical casi a ras de la columna. |  |
| 08.06 | Ménsulas | Grieta inclinada en el borde superior. |  |
| 08.07 | Ménsulas | Grieta inclinada en el puntal de compresión. |  |
| 08.08 | Vigas | Grietas inclinadas a 45 grados cerca de los apoyos. |  |

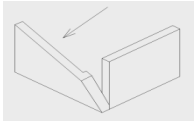
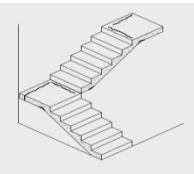
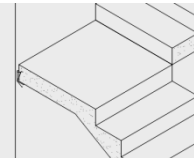
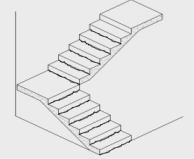
Continuación de la figura 56.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|----------------------------|--|---|
| 08.09 | Vigas | Aplastamiento del concreto. |  |
| 08.10 | Vigas simplemente apoyadas | Grietas verticales en el centro de la viga. |  |
| 08.11 | Vigas continuas | Grietas verticales cercanas a los apoyos. |  |
| 08.12 | Vigas | Separación o corrimiento en sus apoyos. |  |
| 08.13 | Losas | Separación o corrimiento en sus apoyos. |  |
| 08.14 | Losas Nervuradas | Agrietamiento y aplastamiento del concreto en el alma de las nervaduras. |  |
| 08.15 | Losas | Daños o quebraduras en los apoyos de losa. |  |
| 08.16 | Losas planas | Grietas concéntricas alrededor de la columna. |  |
| 08.17 | Losas en un sentido | Grietas en el sentido de los apoyos. |  |
| 08.18 | Losas planas cuadradas | Grietas a 45 grados en la parte inferior de la losa. |  |

Continuación de la figura 56.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------------------------|---|---|
| 08.19 | Losas planas rectangulares | Grieta a 45 grados a partir de las esquinas y una longitudinal al centro. |  |
| 08.20 | Losas continuas | Grietas cercanas a los apoyos continuos. |  |
| 08.21 | Muros | Agrietamiento a partir de esquinas de aberturas. |  |
| 08.22 | Uniones de muros | Agrietamiento en juntas verticales, deslizamiento vertical entre muros. |  |
| 08.23 | Uniones de muros | Agrietamiento y desplazamiento en juntas horizontales. |  |
| 08.24 | Muros | Grietas inclinadas a partir de la base. |  |
| 08.25 | Muros | Agrietamiento y desmoronamiento del concreto en esquinas de los bordes superiores y/o inferiores. |  |
| 08.26 | Paredes de poste y planchas | Agrietamiento y separación en la unión de postes y planchas. |  |
| 08.27 | Paneles de cachada | Rompimiento de uniones, desprendimiento parcial o total de paneles. |  |

Continuación de la figura 56.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------------------------|--|---|
| 08.28 | Muros | Uniones quebradas o dañadas severamente con inclinación del muro. |  |
| 08.29 | Muros | Agrietamiento y aplastamiento del concreto en los extremos libres, arriba y/o abajo. |  |
| 08.30 | Paredes de poste y planchas | Falla en las patinas de apoyo arriba y/o abajo. |  |
| 08.31 | Paneles de cachada | Agrietamiento en uniones de escalones y en apoyos. |  |

Fuente: elaboración propia.

En la figura 57 se presentan detalladamente los tipos de elementos de concreto prefabricado, la descripción de las fallas que este material presenta y un esquema para cada falla. Así mismo se le adjudica un código a cada tipo de falla por elemento, dicho código será utilizado en el formato de evaluación de daños de la figura 22.

4.10. Evaluación de daños

Cuando se lleva a cabo la evaluación de una estructura dañada por sismo, el criterio de la persona que realiza la evaluación es básico para determinar el grado de seguridad o inseguridad de la edificación y para clasificar la gravedad del daño. Como resultado de ello, deberá colocarse la etiqueta correspondiente como se indica en la tabla V.

Para facilitar el trabajo de clasificación de daños se podrá seguir el procedimiento que se presenta en el capítulo 2, llenándose el formulario de evaluación de daños por sismo de estructuras.

Se iniciará por identificar la edificación a evaluar, llenando correctamente los datos de la parte E1 del formato de evaluación.

Luego se hará una evaluación exterior de la edificación. Se deberá observar si hay colapso o daño total o parcial de la misma, así como si esta inclinada, muros que estén parcial o totalmente dañados, elementos estructurales o de fachada con peligro de desplome o algún otro daño que implique riesgo (capítulo 2, cuadro E2). Si los daños son muy severos la edificación se considera insegura, no se entrará a ella y se deberá colocar una etiqueta de color rojo y acordonar el área en caso necesario.

Es importante también llevar a cabo una evaluación sobre el estado del terreno donde se encuentra la edificación (capítulo 2, cuadro E3), anotando cuidadosamente si hay fallas geotécnicas observables, asentamientos provocados por el sismo, deslizamiento o derrumbes en terrenos cercanos o grietas, desplazamientos del suelo y/o si hay problemas de licuefacción. Si se presentaron uno o más de estos daños la estructura se tendrá que declarar

insegura hasta que una persona calificada realice un estudio más profundo y se demuestre lo contrario. Por lo tanto se tendrá que colocar una etiqueta color rojo y una color morado, indicando así peligro de ingreso en la edificación y un posible daño geotécnico.

Si después de evaluados los cuadros E2 y E3 se establece que aparentemente no existe peligro inminente para hacer la evaluación interior de la estructura, se ingresará en la edificación para trabajar el cuadro E4. Se observará el tipo de sistema estructural, debiéndose señalar con una X la columna y la fila que describirá mejor los elementos estructurales y el material des cual están hechos.

Cuando ya se han identificado los elementos, se llevará a cabo la evaluación de los miembros; para esto se puede tomar como referencia los cuadros con gráficas de daños que se presentan en las páginas anteriores. En el cuadro E5, se anotará el código que identifique mejor el tipo de falla que existe en cada tipo de elemento.

Si hay algún comentario que el evaluador considere importante y sirva para una mejor clasificación de los daños, lo anotará en el cuadro E6.

El objetivo final de la evaluación es la clasificación de la estructura en conjunto, en cuanto a la seguridad o inseguridad de la misma. El criterio de la persona que realiza la evaluación, será fundamental para interpretar la gravedad de los daños. Sin embargo, se pueden dar algunos lineamientos que ayuden al evaluador a realizar su trabajo (ver cuadro E7).

Cuando se observen solamente daños menores, en elementos secundarios tales como tabicaciones auxiliares de madera, cielos falsos,

puertas interiores, etcétera, que no impliquen peligro en la estructura ni para los habitantes de la misma, se podrá clasificar como habitable correspondiéndole una etiqueta verde.

Si hay algún daño parcial y localizado específicamente en un área o porción de la estructura que la pueda hacer insegura, se debe restringir el acceso al área o áreas dañadas. El acceso será permitido solo a personal calificado, con el propósito de llevar a cabo una evaluación más completa posteriormente. En estos casos se colocará una etiqueta de color amarillo.

Cuando se presenten daños bien localizados que pongan en peligro la seguridad de los habitantes en una sección, pero el resto de la edificación no presente daños significativos, se puede clasificar la misma con una etiqueta color amarillo con rojo. El área que represente peligro debe ser acordonada, limitándose el ingreso a personal calificado. Se aconseja una inspección posterior por un especialista.

Cuando la estructura presente daños considerables que signifiquen peligro inminente debe ponerse una etiqueta roja, y no se debe permitir el ingreso de persona alguna.

Cualquier recomendación que desee hacer el evaluador, la puede anotar en E8.

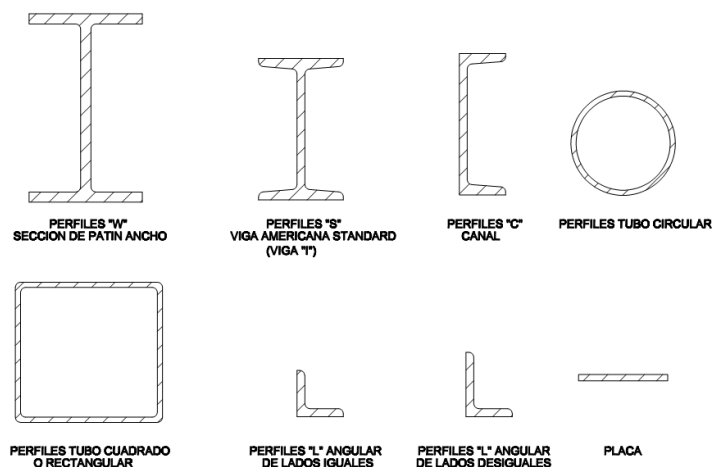
En el formato se incluye una hoja cuadriculada parte E9, en donde se deberá hacer un esquema de planta de la edificación, y señala en el mismo el área o áreas que presentan daños. La planta deberá orientarse en relación al norte. Podrán hacerse otros esquemas para aclarar detalles de la estructura y/o de los daños ocurridos.

5. ESTRUCTURAS DE ACERO

5.1. Generalidades

El acero es considerado uno de los materiales estructurales más versátiles, teniendo en cuenta los aspectos de gran resistencia y ductilidad, como resultado de ello se tienen estructuras compuestas por elementos de secciones relativamente esbeltas. Esta característica ha dado lugar a estandarizar la forma de las secciones para optimizar el uso del material de manera económica. A continuación se presentan algunos tipos de secciones (comúnmente llamadas perfiles), que se utilizan para conformar los elementos de los edificios de acero, pudiendo estos elementos ser una combinación de las mismas secciones (ver figura 57).

Figura 57. **Perfiles estructurales producidos por fabricantes**



Fuente: elaboración propia.

5.2. Elementos

La variedad elementos constructivos que integran una estructura de acero es variada en su composición, geometría y dimensiones. Los principales elementos utilizados en construcciones, en Guatemala, son:

5.2.1. Columnas

Las columnas son elementos que trabajan principalmente a carga axial de compresión o está combinada con flexión. Los perfiles con que se forman las columnas generalmente son perfiles W, tubo circular, tubo cuadrado, combinación de perfiles C (canales) y a veces una combinación de angulares. Es importante determinar las conexiones de extremo, excentricidades de carga, y en casos de columnas altas, la esbeltez que juega un papel importante en el desempeño del elemento.

5.2.2. Vigas

Las vigas son elementos horizontales, en algunos casos inclinados e incluso pueden ser verticales, cuya función es transmitir cargas que producen principalmente flexión. Este tipo de elemento puede formarse con los perfiles que se muestran en la figura 58 o en combinación de ellos, pero los más apropiados son los perfiles W, S y C.

5.2.3. Arriostres

Son elementos en diagonal, formando triángulos en la estructura. Los arriostres, trabajando a carga axial de tensión o de compresión, evitando el

ladeo de la estructura. Los perfiles más apropiados para formar los arriostres son perfiles W, S, C y angulares.

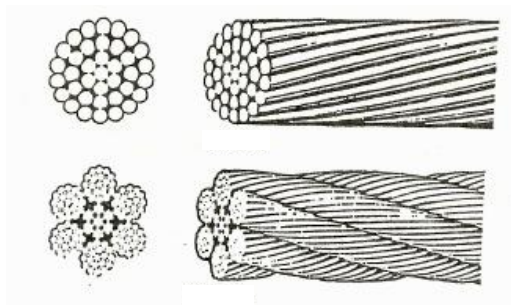
5.2.4. Miembros a tensión

Los miembros a tensión se encuentran sometidos únicamente a carga axial de tensión. Los perfiles comúnmente usados son los perfiles W, S, C, angulares y barras. Es común encontrarlos en armaduras, sistemas de arriostre y en miembros utilizados como tirantes.

5.2.5. Cables

Son miembros flexibles que pueden ser únicamente sometidos a tensión, consisten en uno o más grupos de alambres, torones o cuerdas. Un torón está formado de alambres dispuestos en forma helicoidal alrededor de un alambre central para producir una sección simétrica; de la misma manera un cable es un grupo de torones colocados en forma helicoidal alrededor de un núcleo central que está compuesto de un corazón de fibras o de otro torón. A continuación, en la figura 58, se muestran esquemas de cable y torón.

Figura 58. **Esquema de cable y torón**



Fuente: imágenes de google, acero. Consulta: mayo 2012.

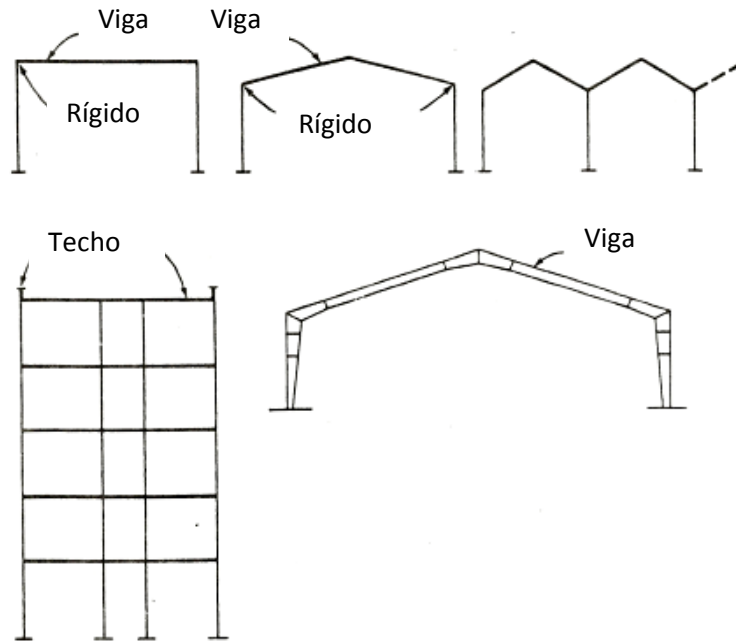
5.3. Sistemas estructurales

Los principales sistemas estructurales que se trabajan con base en acero, en la industria de la construcción en Guatemala, son clasificados básicamente en los siguientes grupos:

5.3.1. Marcos rígidos

Están formados por vigas y columnas con uniones rígidas capaces de transmitir momento flector. Las fuerzas verticales y horizontales son resistidas por acción de marco, en la cual las vigas y columnas trabajan a flexión o a flexocompresión. La unión viga-columna puede estar hecha por medio de soldadura o pueden ser uniones pernadas, remachadas o una combinación de soldadura y pernos. Este tipo de marcos puede formar uno o varios pisos. En la figura 59 se presentan algunos marcos frecuentemente usados en las estructuras de acero para edificios.

Figura 59. **Diversos marcos usados en las estructuras de acero para edificios**

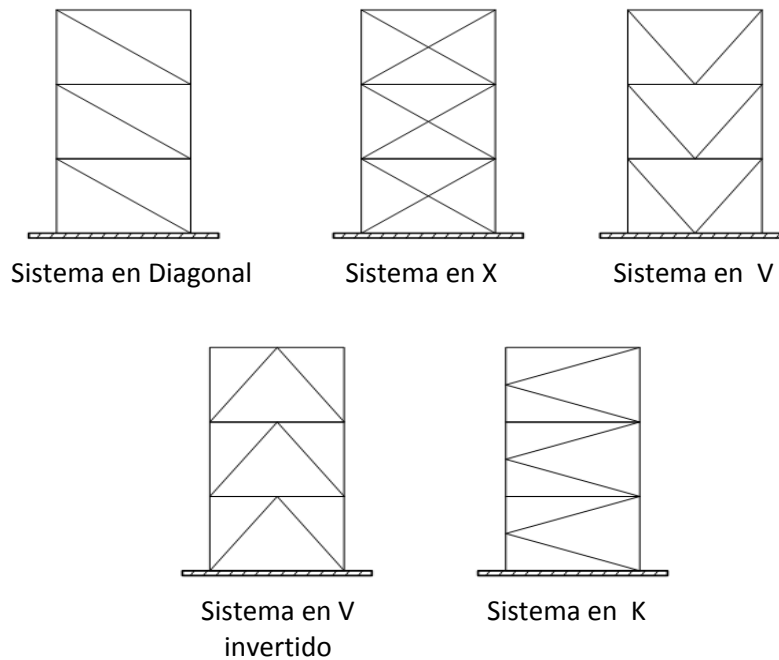


Fuente: imágenes de google, acero. Consulta: mayo 2012.

5.3.2. Marcos arriostrados

Al igual que los marcos rígidos, los marcos arriostrados están formados por vigas y columnas, teniendo adicionalmente elementos en diagonal formando triángulos en la estructura. Los nudos pueden ser articulados. Los arriostres, miembros diagonales, trabajan a carga axial de tensión o de compresión, evitando el ladeo de la estructura. La colocación de los elementos diagonales pueden ser en X, K o V como lo muestra a continuación la figura 60.

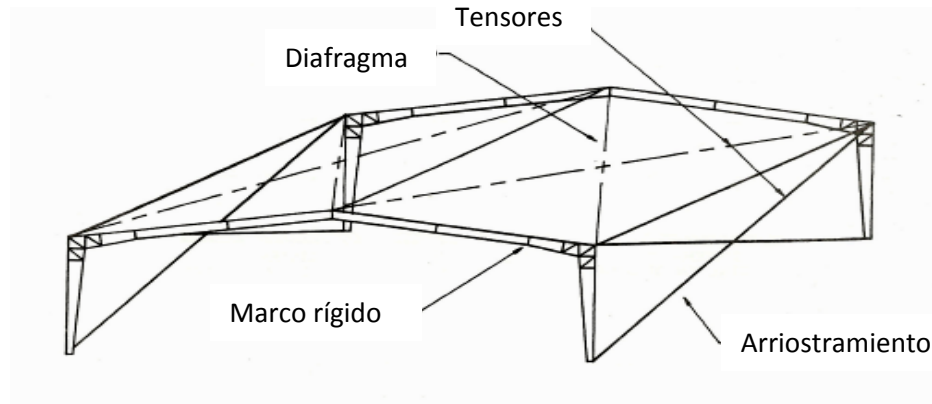
Figura 60. **Configuraciones típicas de sistemas de arriostres concéntricos**



Fuente: elaboración propia.

Un caso frecuente de marcos arriestrados se muestra en la figura 60, en donde los elementos en diagonal están situados en el plano inclinado del techo (formando diafragmas) y en la dirección perpendicular al marco rígido formando diafragmas verticales. Los elementos en diagonal están diseñados para que resistan las fuerzas laterales por medio de tensión axial y son llamados comúnmente tensores.

Figura 61. **Esquema de marco rígido arriostrado por tensores**

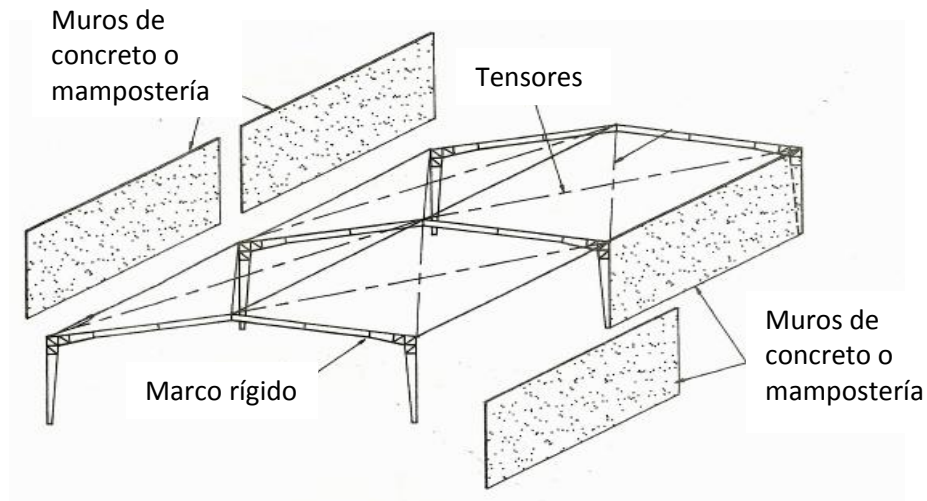


Fuente: imágenes de google, acero. Consulta: mayo 2012.

5.3.3. **Marcos con muros de concreto de mampostería**

Este tipo de estructuras poseen marcos rígidos de acero en una dirección, con cerramiento de la edificación usando muros de concreto o muros de mampostería. Es importante determinar si estos muros forman parte del sistema estructural, en cuyo caso son utilizados parcial o totalmente para resistir las fuerzas laterales. En caso contrario tales muros serán tomados como elementos secundarios. La figura 62 muestra un arreglo de marcos con muros de concreto o de mampostería.

Figura 62. **Esquema de marcos con muros de concreto o muros de mampostería**

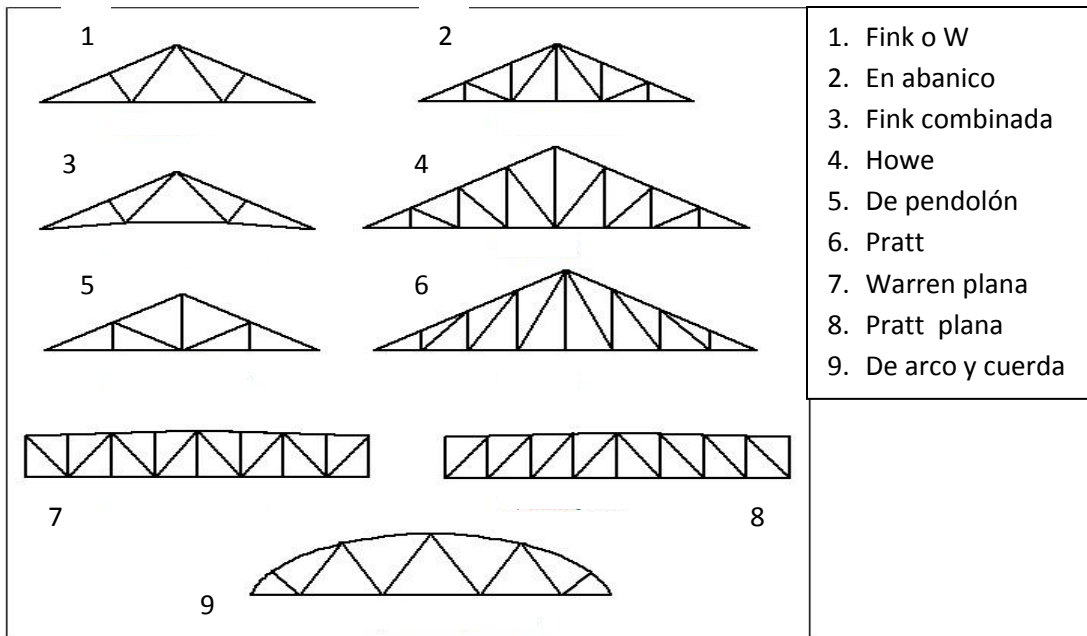


Fuente: imágenes de google, acero. Consulta: mayo 2012.

5.3.4. **Armaduras**

Una armadura está formada por un grupo de miembros (también llamados barras) que forman uno o más triángulos, en un solo plano, y están dispuestos de manera que las cargas externas se aplican en los nudos o juntas y teóricamente solo producen tensión o compresión. En la figura 63 se muestran algunos tipos de armaduras.

Figura 63. Tipos de armaduras

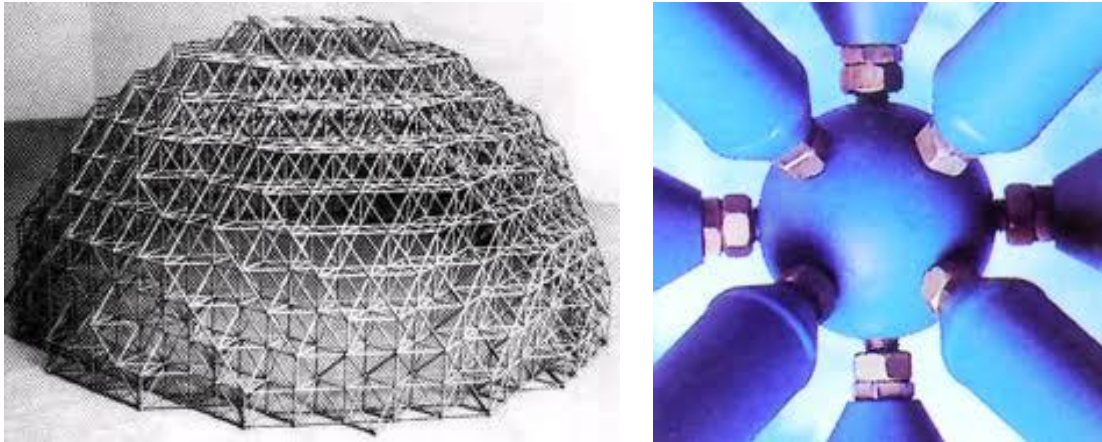


Fuente: imágenes de google, acero. Consulta: mayo 2012.

5.3.5. Armaduras tridimensionales

Es un sistema de barras en el espacio, unidas entre sí por sus extremos con articulaciones, de manera que forman una estructura especial rígida. Sus elementos están dispuestos de manera que las cargas externas se aplican en los nudos o juntas y teóricamente solo producen tensión o compresión axiales en los miembros. La figura 64 muestra un arreglo de miembros que forman una armadura tridimensional.

Figura 64. **Esquema de armadura tridimensional y de nudo**



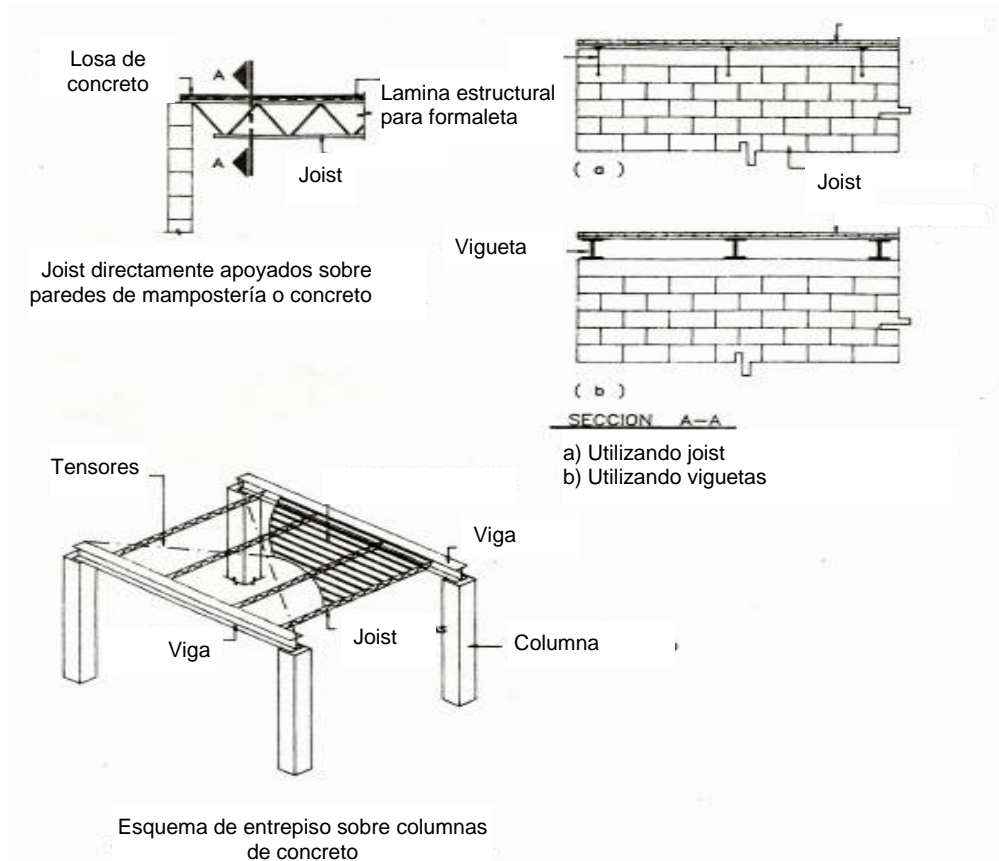
Fuente: Imágenes de google, estructuras de acero. Consulta: mayo 2012.

5.3.6. Entrepisos

La utilización de elementos de acero combinados con otros materiales, tales como concreto, madera, etcétera, para la construcción de entrepisos, es de uso bastante frecuente. Generalmente los entrepisos están formados con un sistema de vigas de varga apoyadas sobre columnas, paredes, armaduras, etcétera, sobre las que se apoya una serie de vigas de menor dimensión, llamadas viguetas o vigas secundarias.

Como vigas secundarias pueden usarse *joists*, que son vigas de alma abierta. Sobre estos elementos descansa el piso que puede ser de tablones de madera, losetas prefabricadas de concreto o una losa de concreto fundida en el lugar. La figura 65 muestra algunos de los sistemas utilizados para entrepiso. Las uniones entre los diversos elementos y los anclajes a la estructura principal son importantes para que el entrepiso pueda funcionar como diafragma horizontal.

Figura 65. Esquema de entrepiso de acero



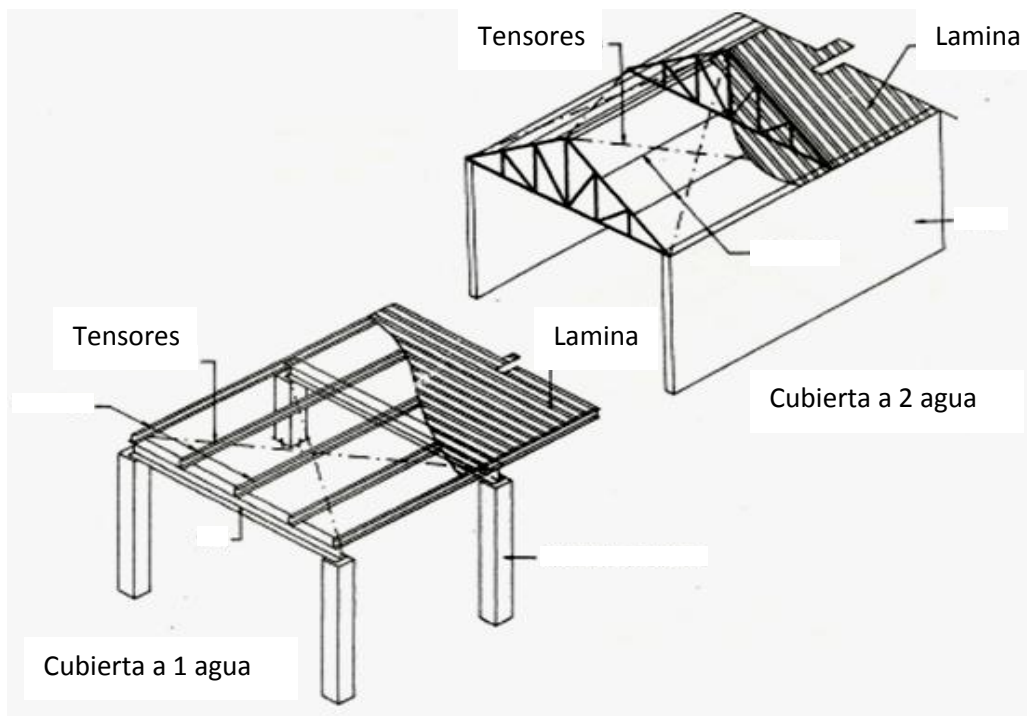
Fuente: imágenes de google, entrepiso de acero. Consulta: mayo 2012.

5.3.7. Techos

Es muy común encontrar cubiertas con armaduras de acero o simplemente de vigas inclinadas, como elementos que soporten las cargas del techo. Las armaduras o vigas generalmente están conectadas entre sí por medio de tensores formando un diafragma horizontal y frecuentemente descansan sobre muros de mampostería con columnas de concreto. En otros casos se apoyan en estructuras principales de acero. Sobre las armaduras o vigas inclinadas descansan las costaneras que son las que reciben la cubierta

(que pueden ser láminas metálicas, fibrocemento, elementos de concreto, etcétera) y la carga viva. La figura 66 muestra algunos tipos de cubiertas.

Figura 66. **Esquema de cubiertas o techos**

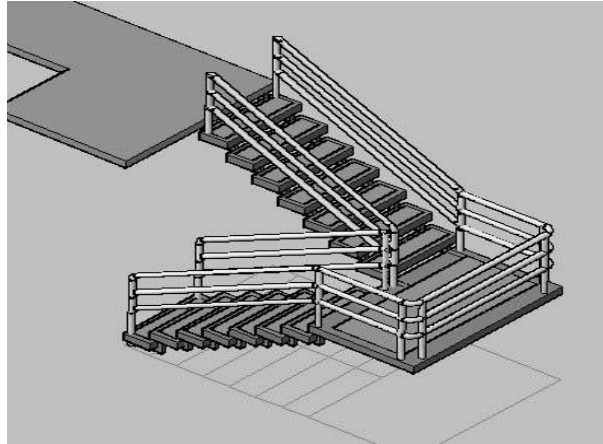


Fuente: imágenes de google, acero, mayo 2012.

5.3.8. **Gradas**

Son un arreglo de vigas inclinadas que van de un piso inferior al piso superior, sobre las que se apoyan los peldaños (de acero, de madera o de concreto). Cuando están apoyadas sobre el suelo están fijadas a un cimiento de concreto y generalmente están apoyadas en vigas en el nivel superior unidas por medio de pernos o soldaduras. Se puede observar en la figura 67 el esquema de un módulo de gradas fabricadas en estructura metálica.

Figura 67. **Esquema de gradas de estructura metálica**







Fuente: imágenes de google, gradas de acero. Consulta: mayo 2012.


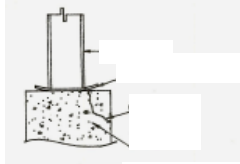
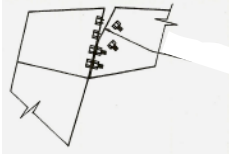
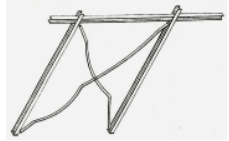
5.4. Descripción de fallas en estructuras de acero

En la figura 68 se detallan las fallas más comunes que puede provocar la acción de un sismo en una estructura de acero. Se complementa la información con un esquema y un código por cada falla.

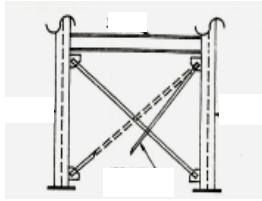
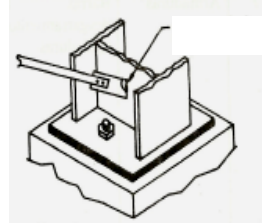
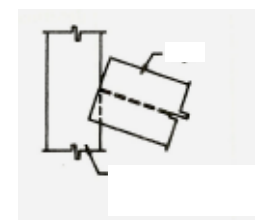
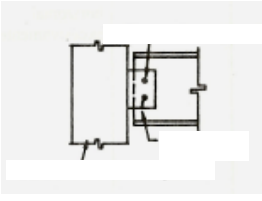
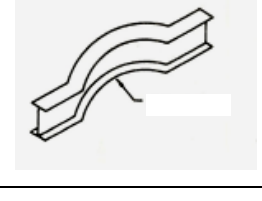
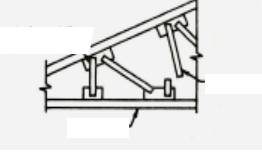
Figura 68. **Descripción de fallas en construcciones de acero**

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|---|---|
| 09.01 | Columnas | Columna inclinada o fuera de plomo. |  |
| 09.02 | Columnas | Columna que se muestre arqueada. |  |
| 09.03 | Columnas | Desgarramiento de la soldadura en la platina de apoyo. |  |
| 09.04 | Columnas | Deformación de los pernos de anclaje en el apoyo de la columna. |  |

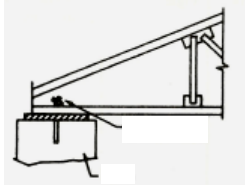
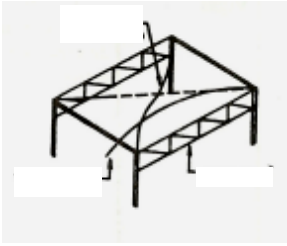
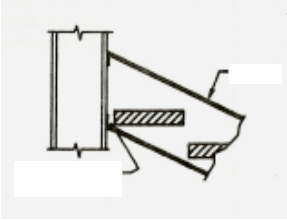
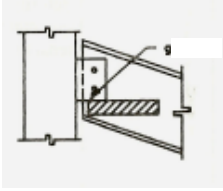

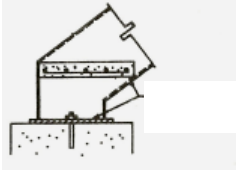
Continuación de la figura 68.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|----------------------|---|---|
| 09.05 | Columnas | Corte de los pernos de anclaje en el apoyo de la columna. |  |
| 09.06 | Columnas | Aplastamiento de la columna. Falla por compresión. |  |
| 09.07 | Columnas | Pandeo en la platina de apoyo y daño en el pedestal de apoyo. |  |
| 09.08 | Uniones viga-columna | Grietas en soldaduras de las uniones y/o en las vigas o columnas. |  |
| 09.09 | Uniones viga-columna | Deformación en los patines cerca de la junta viga-columna. |  |
| 09.10 | Uniones viga-columna | Pernos cortados o deformados y deformaciones en la placa conectora. |  |
| 09.11 | Arriostres | Arriostres arqueados o deformados. |  |

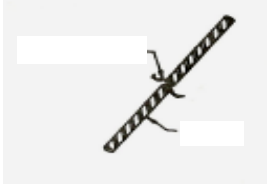
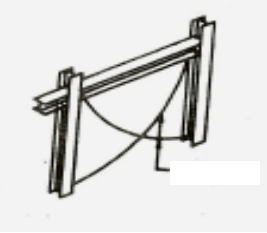

Continuación de la figura 68.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|------------|---|---|
| 09.12 | Arriostres | Arriostres rotos. |  |
| 09.13 | Arriostres | Desgarramiento de soldaduras entre columna y platina conectora y/o pernos rotos. |  |
| 09.14 | Vigas | Corrimiento o desplazamiento de los apoyos. |  |
| 09.15 | Vigas | Corte en pernos y grietas visibles en las placas de unión de viga a columna o pareses de apoyo. |  |
| 09.16 | Vigas | Deformación lateral o alabeo a lo largo de la viga. |  |
| 09.17 | Armaduras | Barras rotas y/o desgarramiento de las soldaduras. |  |

Continuación de la figura 68.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|---|---|
| 09.18 | Armaduras | Pernos de apoyo rotos o deformados. |  |
| 09.19 | Armaduras | Tensores del diafragma horizontal rotos o excesivamente deformados. |  |
| 09.20 | Gradas | Desgarramiento en soldaduras de unión a elementos de acero. |  |
| 09.21 | Gradas | Grietas en platinas conectoras. |  |
| 09.22 | Gradas | Corte de pernos de anclaje o deformaciones en los mismos. |  |
| 09.23 | Gradas | Desgarramiento de soldadura entre la estructura de gradas y peldaños. |  |

Continuación de la figura 68.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|--|---|
| 09.24 | Cables | Desgarramiento o separación de los alambres o torones que lo conforman. |  |
| 09.25 | Cables | Cables que presenten deformaciones excesivas y que manifiesten una pérdida de tensión. |  |
| 09.26 | Cables | Conexión o piezas de unión falladas que presenten desgarramiento. |  |

Fuente: elaboración propia.

En el figura 68 se presenta detalladamente los tipos de elementos de acero, la descripción de las fallas que este material muestra y un esquema para cada falla. Así mismo se le adjudica un código a cada tipo de falla por elemento, dicho código será utilizado en el formato de evaluación de daños de la figura 22.

5.5. Evaluación de daños

La evaluación en edificaciones dañadas por un sismo, necesariamente se basa en la interpretación que a su criterio y juicio hace el evaluador. Para hacer su labor cuenta con la ayuda de los lineamientos que se dan en este trabajo, para establecer los daños que se presentan y calificarlos.

Se deberán seguir los criterios que se encuentran en la tabla V de clasificación de daño y colocación de etiquetas.

En el cuadro E1 del formato de evaluación se llenará con exactitud los datos generales de la edificación, para poder identificarla posteriormente.

Se recomienda al evaluador, por su seguridad personal y la de las personas que los acompañan, que antes de entrar a una edificación la examine exteriormente para establecer lo siguiente: si presenta colapso total, colapso parcial, inclinación generalizada de la edificación, daños severos en muros y/o columnas, desplazamiento de la estructura con respecto a su cimentación, peligro de desplome de elementos, o cualquier otro tipo de daño grave visible, la edificación deberá considerarse insegura, y se recomienda no entrar a la misma. Se colocará etiqueta roja, indicándose lo encontrado en el cuadro E2; evaluación de condiciones externas de la edificación y se complementaran también los cuadros E7, E8 y E9.

Es importante también establecer daños de tipo geotécnico (ver capítulo 2), tales como asentamientos, corrimientos, grietas en el suelo, deslizamientos o derrumbes, licuefacción del suelo, etcétera, que afecten directa o indirectamente a la estructura. Si es así, la edificación deberá considerarse insegura, al menos hasta que se haga una evaluación más profunda y se demuestre lo

contrario. Se recomienda no entrar a la edificación, colocándose una etiqueta de color rojo, prohibiendo el ingreso a la edificación, y una de color morado manifestando la posibilidad de la existencia de daños geotécnicos. Lo observado se indicará en el cuadro E3 de evaluación de daños geotécnicos y se completaran también los cuadros E7, E8 y E9.

El cuadro E4 de descripción del sistema estructural, tiene por objetivo establecer el tipo de material de construcción que forma la edificación. Se marcará con una X en la columna y fila que corresponda al elemento estructural y material respectivamente.

En el cuadro E5 de descripción de daños estructurales se marcará con una X si existe daño en alguno de los elementos descritos, se escribirá en la columna de comentarios el código de daño que se indica en los cuadros mostrados en las páginas anteriores.

En el cuadro E6 de comentarios se anotará cualquier cosa especial y/o extraordinaria referente a la descripción del sistema estructural y/o de los daños en la estructura.

El cuadro E7 colocación de etiqueta, establece la clasificación de daño y el color de etiqueta que se corresponde. Es importante el criterio y juicio personal del evaluador, auxiliado con los lineamientos que se dan en este trabajo para establecer la magnitud de los daños.

Si la evaluación indica que la edificación no presenta peligro aparente y es habitable en su totalidad sin limitaciones debe colocarse una etiqueta de color verde.

Si la edificación presenta daños parciales y posible peligro en parte o en la totalidad de la estructura, debe colocarse una etiqueta color amarillo. Esta indica que hay que limitar el ingreso únicamente a personal calificado.

Es posible encontrar elementos secundarios que no forman parte de la estructura principal, tales como tabiques, fachadas arquitectónicas, cielos falsos u otros, que presenten algún grado de daño, mientras la estructura principal en general está en buenas condiciones. Las áreas donde se encuentren los elementos dañados deberán ser aisladas sin necesidad de condenar la estructura totalmente. Se colocará una etiqueta color amarillo con rojo.

En el caso de edificaciones compuestas por una serie de marcos, si se observan daños en algunos de los marcos, en forma tal que no ponen en peligro el resto de la estructura, podrá permitirse el uso de la estructura en parte sin daño. Se procederá a acordonar el área dañada y colocar una etiqueta color amarillo con rojo.

En el caso de edificaciones de varios niveles, que presentan daños solo en ciertas áreas tales como el último piso, y el resto de la estructura se encuentra en buen estado, podrá limitarse el paso a esas áreas y permitir la ocupación del resto del edificio. Se procederá a colocar una etiqueta de color amarillo con rojo.

Si el daño en la estructura es severo y representa peligro inminente, no se permitirá el ingreso de ninguna persona y se etiquetara de color rojo. El criterio y juicio del evaluador, es de gran importancia y se deberá dejar constancia de cualquier acción o disposición tomada, en la sección E8 de recomendaciones. En la parte E9 se hará un esquema de la planta de la edificación orientada al norte, localizando en ella los daños.

6. ESTRUCTURAS DE MADERA

6.1. Generalidades de estructuras de madera

La madera es el único material natural renovable, dotado de buenas propiedades estructurales tales como elasticidad, flexibilidad y poco peso.

La durabilidad de este material dependerá del ambiente a que se exponga y los tratamientos que se le apliquen para controlar el contenido de humedad, reducir el riesgo de pudrición y crecimiento de hongos.

El sentido de la aplicación de las distintas direcciones de carga respecto a la dirección de las fibras de su estructura biológica, demarca la eficiencia y comportamiento estructural de la misma.

En cuanto al aspecto constructivo, la madera es un material relativamente fácil de trabajar, transportar y ensamblar, que no requiere sino de herramienta sencilla y sistemas adecuados de unión.

Probablemente el máximo consumo de madera para fines estructurales ha correspondido a la vivienda, desarrollando sistemas compuestos de vigas y columnas, tabique, techos y entresijos, en combinación con otros tipos de materiales como mampostería, acero o concreto reforzado.

6.2. Sistemas estructurales

A continuación se citan los sistemas estructurales más usados a nivel de edificaciones de madera, de los cuales se da una breve descripción de su configuración y uso.

6.2.1. Vigas y columnas

Este sistema se basa esencialmente en apoyar vigas sobre columnas, utilizando para ello diversos métodos de unión según el tipo de edificación que se trate (ver figura 84).

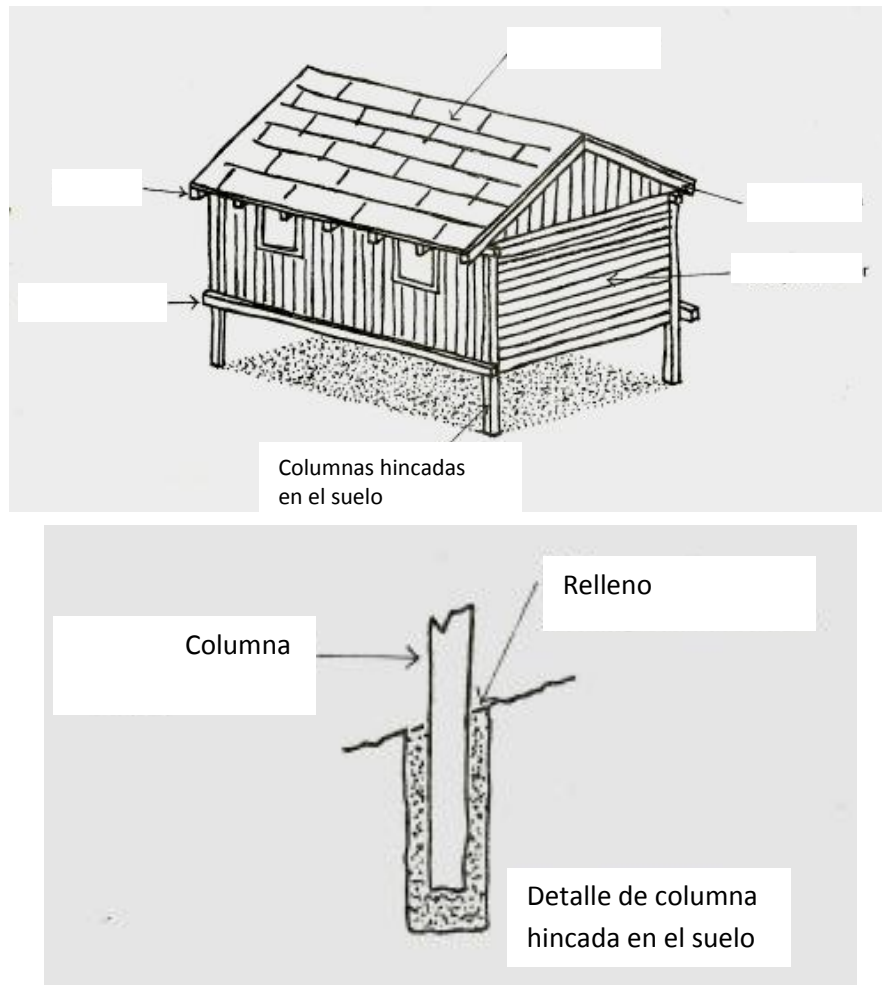
Las columnas, casi siempre miembros verticales robustos de una sola pieza, encargados de la transmisión de cargas al suelo o cimiento, descansaran sobre una base sólida o bien se encontraran hincados en el suelo, lo que contribuye eficazmente a la estabilidad de la estructura ante las fuerzas laterales. Se colocaran guardando entre ellas separaciones variables según el requerimiento del proyecto (ver figura 69).

Las vigas son elementos de dimensiones más esbeltas que las columnas, se encuentran apoyadas directamente sobre las columnas o sobre una viga principal, formando entrepisos o la estructura de un techo (ver figura 70).

Debido a la incertidumbre en el grado de continuidad que puede lograrse en las uniones entre vigas y columnas, y entre estas y la cimentación, se debe contar con elementos que provean estabilidad lateral al sistema. Esto se obtiene por medio de miembros en diagonal que formen triángulos, diafragmas

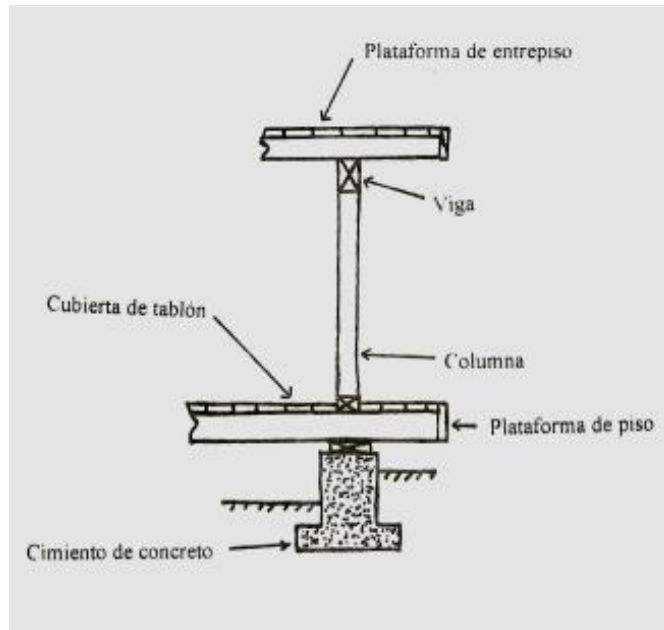
de madera u otros elementos adecuadamente unidos al conjunto de vigas y columnas (ver figura 71).

Figura 69. **Detalle de estructuras con columnas hincadas en el suelo**



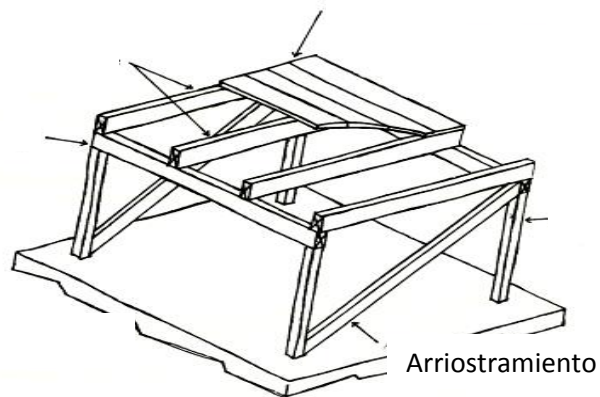
Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 70. **Detalle de columnas, vigas y cimientos**



Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 71. **Sistema de columnas y vigas con arriostramiento**



Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

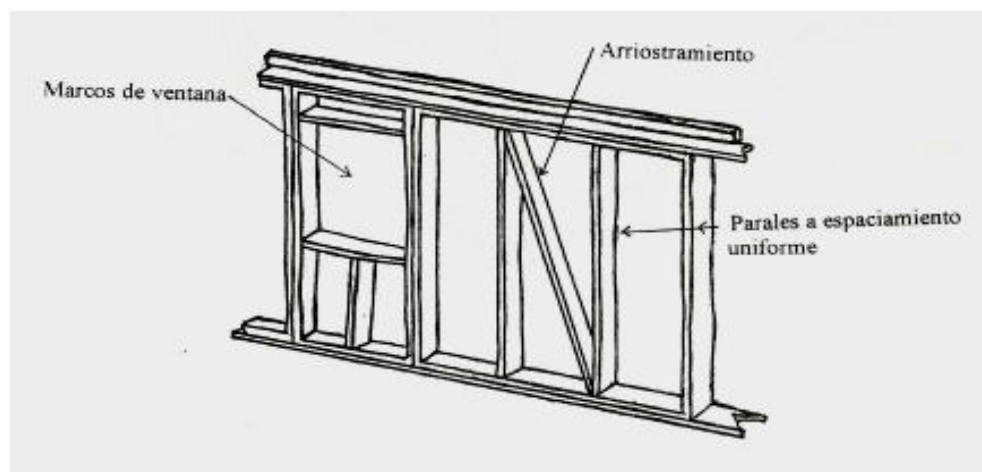
6.2.2. Tabiques

Los tabiques, son sistemas formados por tableros de madera cuya estructura interior está compuesta de parales y arriostramiento simple, lleva forros, en ocasiones solo por un lado y no necesariamente de madera. Puede contener en su área alguna abertura para marco de puerta o ventana (ver figura 72).

En ocasiones cuando se utilizan duelas de madera como forro de los tabiques, estas proveen el arriostramiento necesario para la estabilidad del mismo, colocándolas con una inclinación de 45 grados (ver figura 74).

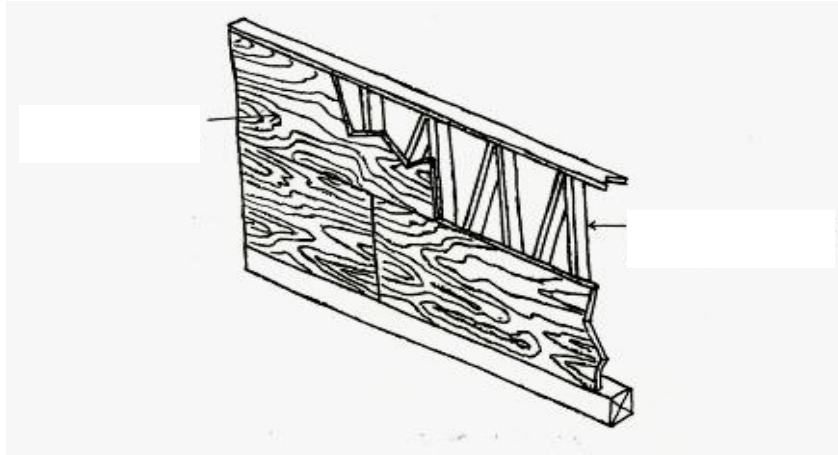
Algunos tabiques no cumplen una función estructural dentro del sistema general de la edificación, sino únicamente proveen una división o delimitan un área determinada.

Figura 72. Estructura de tabique



Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 73. **Detalle de tabique con forro sobre un lado**



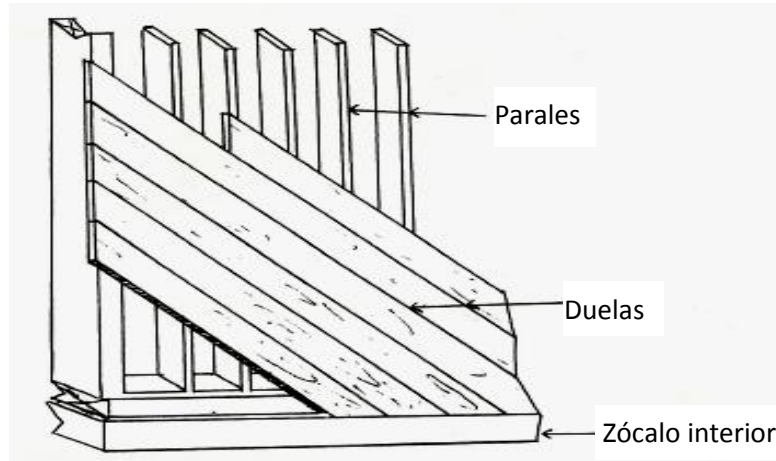
Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

6.2.3. Entrepisos

El entrepiso, es una plataforma horizontal que se apoya sobre un conjunto de vigas y columnas, tabiques, muros de otros materiales o combinación de estos. La plataforma se compone de un sistema de vigas secundarias sobre la cual se coloca una cubierta de tablones, duelas o planchas según otro material.

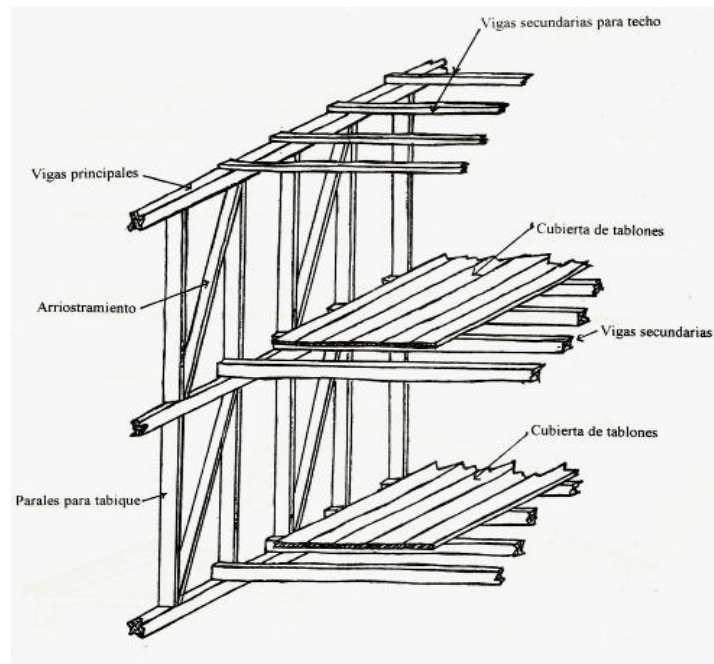
El entrepiso cuando actúa como diafragma transmite las fuerzas horizontales a los elementos verticales de la estructura (ver figura 75).

Figura 74. **Arriostramiento y forro con duela de madera**



Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 75. **Sistema de entrepiso**



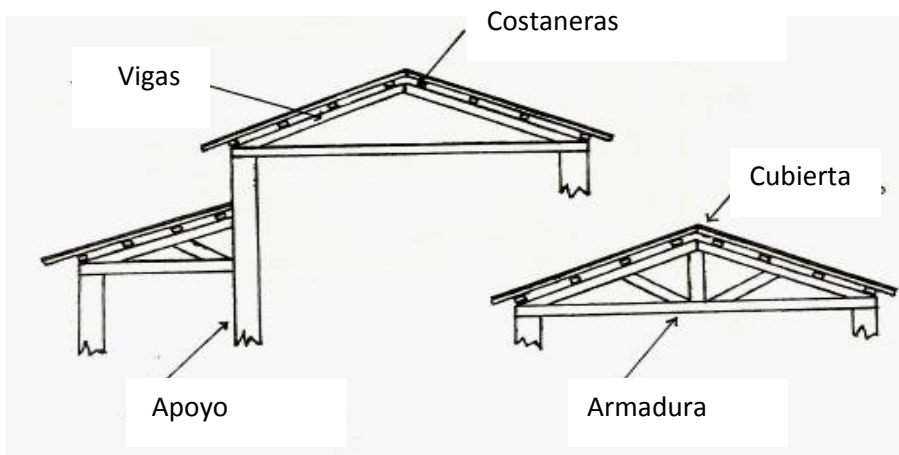
Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

6.2.4. Techos

El techo de madera, es un sistema que puede estar compuesto de una serie de vigas, casi siempre inclinadas, un conjunto de armaduras o la combinación de ambos. Se apoyan sobre tabiques de madera, muros de mampostería o sobre vigas principales de madera u otro material (ver figura 76).

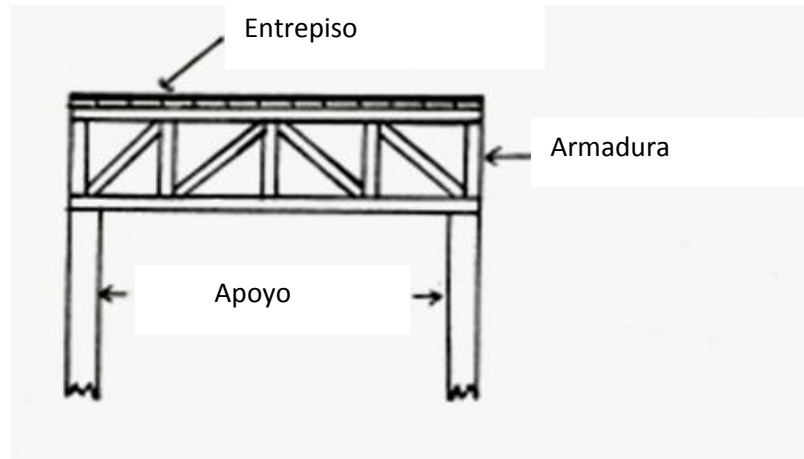
La cubierta final (lámina, teja, baldosa, etcétera) se apoya por medio de costaneras o vigas secundarias a la estructura principal del techo (ver figura 77). Las uniones entre miembros de una armadura de techo o entre vigas inclinadas y sus apoyos juegan un papel importante para el buen comportamiento de este sistema estructural (ver figura 85).

Figura 76. Estructuras de techo



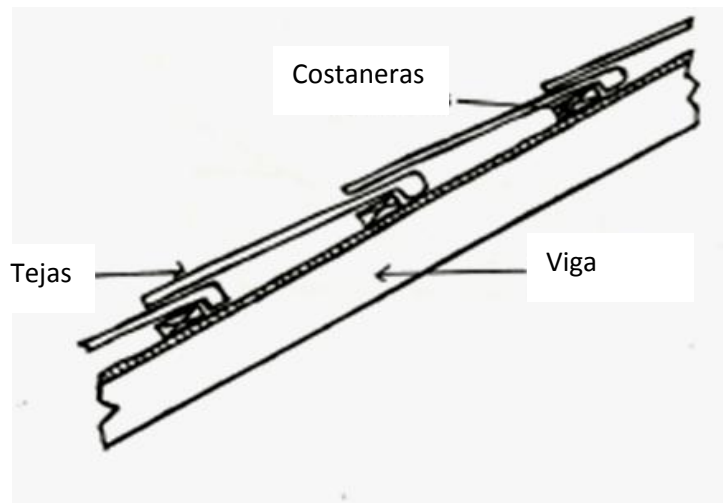
Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 77. **Estructuras de techo**



Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 78. **Detalle típico de cubierta de techo de madera**



Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

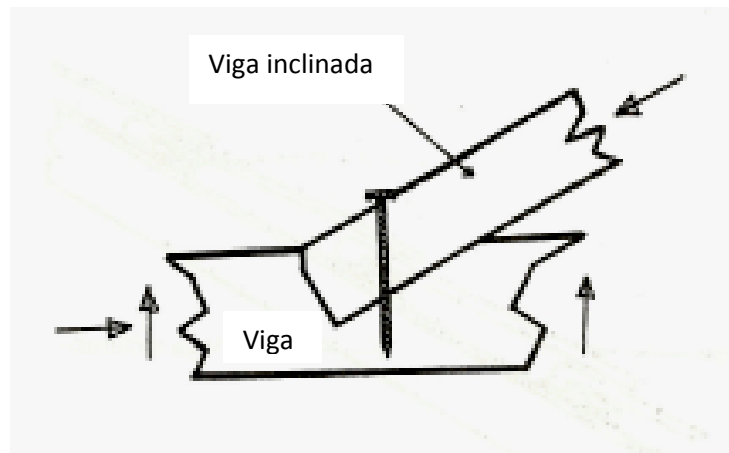
6.3. Uniones

En los sistemas estructurales de madera, el objetivo de las uniones es la transmisión de cargas y proveer continuidad en la estructura. Además de permitir el uso de elementos de una longitud mayor y proporcionan anclaje a los cimientos.

Para las uniones se puede utilizar desde clavos y tornillos hasta placas de acero con pernos o dispositivos especiales (*Split-ring* y otros), dependiendo del tipo de estructura que se trate y la importancia del elemento en el sistema.

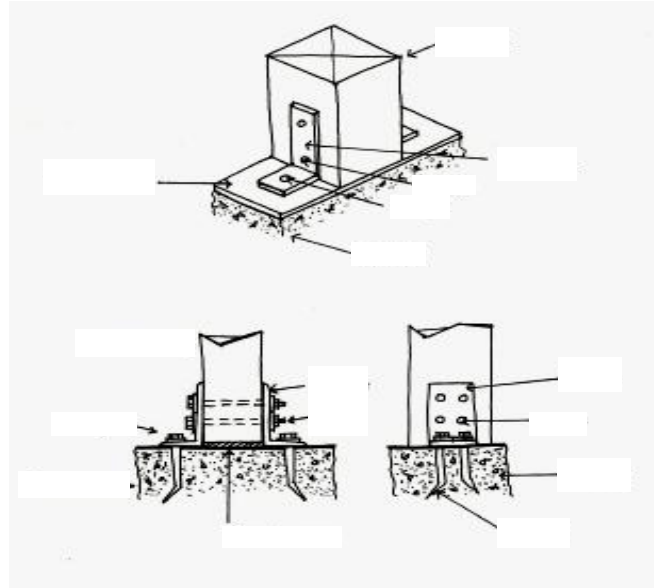
A continuación se muestra una serie de esquemas que ejemplifican los tipos de uniones más utilizados.

Figura 79. **Detalle típico de una unión simple en ángulo con clavos**



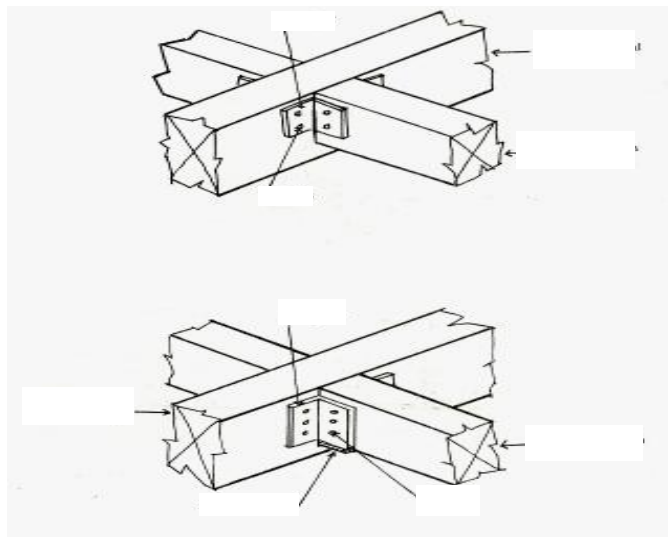
Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 80. **Uniones entre columna y cimiento**



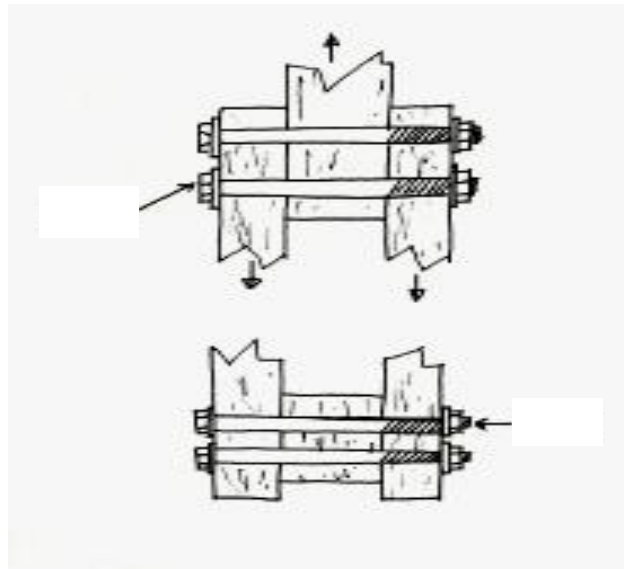
Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 81. **Uniones entre vigas**



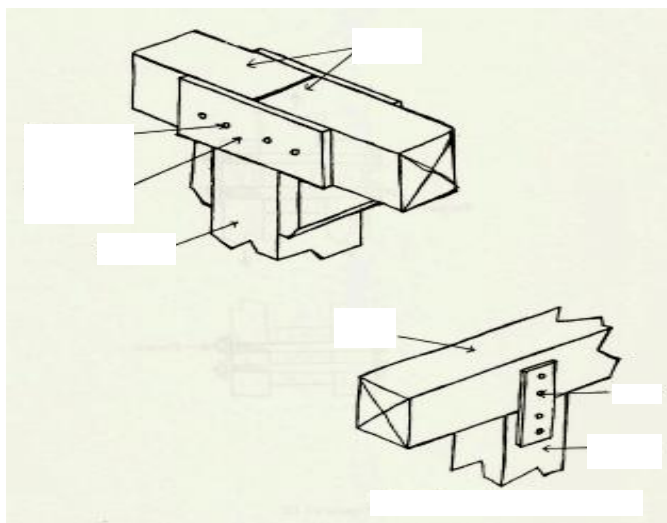
Fuente: imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 82. **Detalle típico de unión con pernos entre elementos de madera en una armadura**



Fuente: Imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

Figura 83. **Uniones entre vigas y columnas**

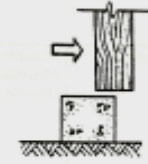
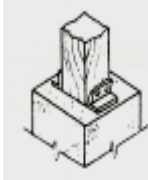
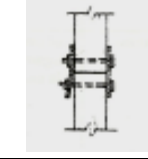
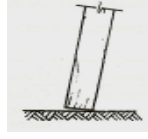

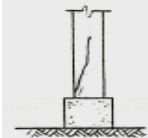


Fuente: Imágenes de google, estructuras de madera. Consulta: mayo 2012.

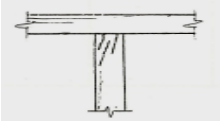
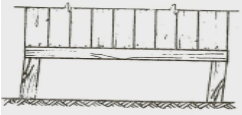
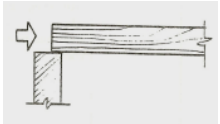
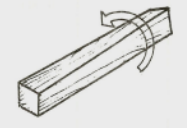

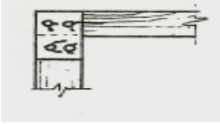
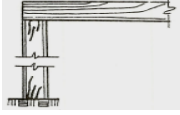

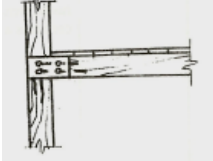
6.4. Descripción de fallas en estructuras de madera

En la figura 84 se detallan las fallas más comunes que puede provocar la acción de un sismo en una estructura de madera. Se complementa la información con un esquema y un código por cada falla.

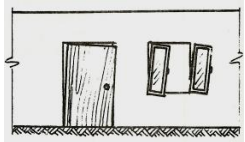
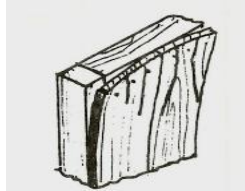
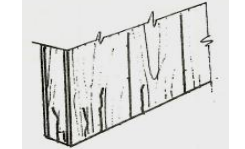
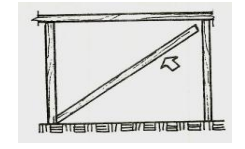
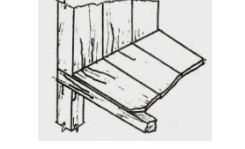
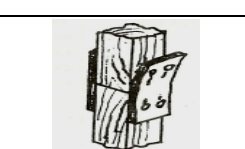
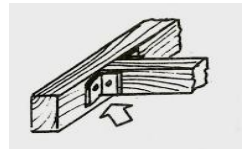
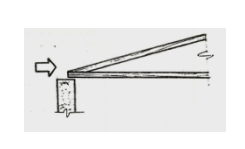
Figura 84. Descripción de fallas en construcciones de madera

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|--|---|
| 10.01 | Columnas | Columna corrida en su base o cimiento (columna montada sobre base de piedra o concreto). |  |
| 10.02 | Columnas | Columna que muestra que sus elementos de sujeción o uniones a su base están dañados. |  |
| 10.03 | Columnas | Columna con daños en los empalmes. |  |
| 10.04 | Columnas | Columna con notoria pérdida de verticalidad. |  |
| 10.05 | Columnas | Columna que muestra rotación alrededor de su eje longitudinal (torsión). |  |
| 10.06 | Columnas | Columna con fractura o rasgamiento en el área cercana a su base de apoyo. |  |


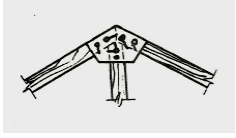

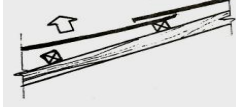
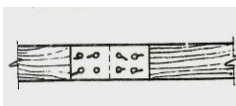
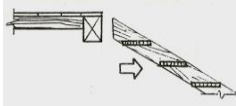
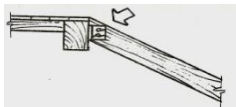

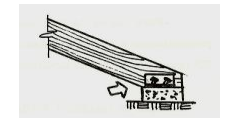
Continuación de la figura 84.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|----------------------|--|---|
| 10.07 | Columnas | Columna con fractura o rasgamiento en el área cercana a la unión con vigas. |  |
| 10.08 | Columnas | Columna hincada directamente al suelo sirviendo de apoyo a la estructura y que presenta inclinación pronunciada, desgarres en la unión con el entrepiso o facturas en su base a nivel del suelo. |  |
| 10.09 | Columnas | Viga con corrimiento en su soporte. |  |
| 10.10 | Vigas | Viga que muestra rotación alrededor de su eje longitudinal (torsión). |  |
| 10.11 | Vigas | Viga con fracturas o rasgamientos en las áreas cercanas a los apoyos. |  |
| 10.12 | Uniones viga-columna | Rasgamientos o daños visibles en el área de los pernos, tornillos o clavos. |  |
| 10.13 | Tabiques | Fisuras y/o rasgamientos visibles en tabiques en la parte inferior o alrededor de las áreas que proveen apoyo a las vigas. |  |
| 10.14 | Tabiques | Tabique visiblemente inclinado. |  |
| 10.15 | Tabiques | Fisuras y rasgamientos en uniones de tabiques con columnas, vigas, entrepisos, cimiento u otros tabiques. |  |

Continuación de la figura 84.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|------------------|---|---|
| 10.16 | Tabiques | Tabique que presenta puerta o ventanas con dificultad de cierre y/o apertura. |  |
| 10.17 | Tabiques | Tabique que presenta separación, fractura o rasgamiento de los forros, especialmente en los puntos cercanos a los apoyos para entrepisos, vigas, uniones con otros muros, cimiento. |  |
| 10.18 | Tabiques | Fractura y/o rasgamiento en la base del tabique. |  |
| 10.19 | Tabiques | Desprendimiento de arriostramientos de los paralelos del tabique. |  |
| 10.20 | Entrepisos | Fractura, rasgamientos o separaciones evidentes en las áreas cercanas a los apoyos y/o en tabiques superiores que se apoyen sobre el entrepiso. |  |
| 10.21 | Entrepisos | Daños visibles en elementos de sujeción entre miembros. |  |
| 10.22 | Uniones de vigas | Rasgamientos o daños en el área de los agujeros de pernos, tornillos o clavos en los elementos de unión entre miembros. |  |
| 10.23 | Techos | Desplazamientos de vigas o tijeras de vigas o tijeras de sus apoyos. |  |

Continuación de la figura 84.

| Código | Elementos | Descripción de falla | Esquema |
|--------|-----------|---|---|
| 10.24 | Techos | Rotura o desgarramientos en empalmes. |  |
| 10.25 | Techos | Miembros de armaduras con conexiones rotas. |  |
| 10.26 | Techos | Desprendimiento o desplome parcial de cielos falsos. |  |
| 10.27 | Techos | Desprendimiento de cubiertas (láminas, teja, etcetera). |  |
| 10.28 | Techos | Rasgamiento o daños en el área de los agujeros de pernos, tornillos o clavos, en uniones de una armadura. |  |
| 10.29 | Gradas | Separación visible entre la estructura de gradas y entrepiso, o cimientos. |  |
| 10.30 | Gradas | Desgarramiento de uniones entre la estructura de gradas y entrepisos o cimentación. |  |
| 10.31 | Gradas | Grietas en elementos conectores. |  |
| 10.32 | Gradas | Corte de pernos de anclaje o deformaciones en los mismos. |  |

Fuente: elaboración propia.

En la figura 84, se presentan detalladamente los tipos de elementos de madera, la descripción de las fallas que este material presenta y un esquema para cada falla. Así mismo se le adjudica un código a cada tipo de falla por elemento, dicho código será utilizado en el formato de evaluación de daños de la figura 22.

6.5. Evaluación de daños

Para hacer la evaluación, debe utilizarse el formulario que aparece en el capítulo 2, procediendo a llenar los datos requeridos en los cuadros E1 (datos generales de la edificación), E2 (evaluación de las condiciones externas) y E3 (daños geotécnicos).

Para el cuadro E4 (descripción del sistema estructural), el evaluador se ubicará en el renglón correspondiente a madera como material de construcción y se procederá a marcar la casilla de cada elemento estructural que compone la edificación que está evaluando.

En el cuadro E5 (descripción de daños estructurales), se anotará cual de estos elementos están dañados. La información descrita en el cuadro de la sección 6.4 (descripción de fallas) y sus ilustraciones pueden utilizarse como referencia para identificar las fallas en la estructura.

En el cuadro puede observarse que a cada falla le corresponde un código, se anotará este código en el renglón de comentarios habilitado para cada elemento en el cuadro E5.

Si la falla que presenta el elemento no se muestra en el cuadro, se elaborará una descripción de la misma utilizando el cuadro E6 (comentarios).

Se recomienda poner especial atención en los elementos principales de la estructura. Observa si en ellos se han producido fallas, si estas son repetitivas o aisladas. Revisar los sistemas de unión, así como los miembros que proveen soporte lateral.

Es importante considerar también el riesgo que representan los elementos con deterioro por acción del ambiente (pudrición o insectos) y falta de mantenimiento.

Una vez identificadas las fallas existentes en la estructura, el evaluador debe hacer uso de su criterio y conocimientos para analizar en conjunto toda la información recopilada, y emitir a su juicio la clasificación que corresponda de acuerdo al estado general en que se encuentra la edificación, seleccionando en el cuadro E7 (colocación de etiqueta), la etiqueta que se colocará.

El evaluador recomendará las acciones inmediatas que deben tomarse para la seguridad de los usuarios y se anotaran en el cuadro E8 (recomendaciones).

Para completar el informe se incluirá en el cuadro E9 (esquema) un esquema en planta de la edificación, indicando su orientación con respecto al norte y señalando la ubicación de los puntos y/o de utilidad para detallar lo observado.

CONCLUSIONES

1. Debido a la alta probabilidad de sismos de gran intensidad en la zona de coyuntura de placas donde Guatemala se encuentra, la preparación preventiva es necesaria para afrontar períodos de crisis como lo son los días postsismo.
2. La gran variedad de tipos de edificaciones, la edad de las mismas, los materiales utilizados y los diferentes sistemas estructurales obliga a estar actualizados en lo referente a estos temas, con el fin de poder brindar una evaluación certera.
3. Una rápida evaluación, categorización y etiquetación de estructuras afectadas por sismos dará una ventaja considerable de tiempo; lo cual se verá reflejado en optimización de recursos económicos y vidas salvadas al evitar que las estructuras dañadas con riesgo de colapso sean habitadas y utilizadas.

RECOMENDACIONES

1. Los resultados de las evaluaciones realizadas a las estructuras afectadas, deberán ser informados a las autoridades pertinentes como municipalidades.
2. Si el resultado de la evaluación muestra un daño geotécnico severo con alta probabilidad de colapso, informar inmediatamente a CONRED para determinar conjuntamente con las entidades locales los pasos a realizar salvaguardando la seguridad de los habitantes de la estructura en cuestión y las estructuras vecinas.
3. Para una exitosa implementación de este método de evaluación, es invariablemente necesaria la colaboración de la comunidad, tanto en lo concerniente a los preparativos de la evaluación como la implementación de medidas posteriores a la misma y obviamente respetar las determinaciones tomadas por los profesionales en lo referente al estado de la estructura y una posible restricción al acceso.
4. Se propone la creación de un grupo de voluntarios capacitados y certificados por el Estado para efectuar una evaluación rápida post sismo, con la posibilidad de utilizar este documento y estandarizar así la forma de evaluación de las estructuras a nivel nacional.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute (ACI). *Reinforced concrete structures in seismic zones*. 6a ed. Detroit, Michigan: Detroit Publications, 2001. 485 p. SP53.
2. Applied Technology Council (ATC). *Procedures for post-earthquake safety evaluation of buildings: ATC-20*. 2a ed. California: CA Editions, 1989. 152 p.
3. Cámara Guatemalteca de la Construcción. *Memorias del Simposio Internacional sobre el terremoto de Guatemala, del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción*. Tomo I y II. Hotel el Dorado Americana, Guatemala: Lamparelli, 1978.
4. Centro de Investigaciones de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala. *Manual de diseño de elementos estructurales de madera para viviendas*. Guatemala: CII, 1979. 251 p.
5. _____. *Técnicas constructivas industrializadas para viviendas de bajo costo*. Guatemala: CII, 1991. 112 p.
6. CHRISTOPHER, Arnold; REITHERMAN, Robert. *Configuración y diseño sísmico de edificios*. México: Limusa, 1975. 300 p.

7. Departamento de Desarrollo Regional y de Medio Ambiente, Secretaria Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Organización de Estados Americanos. *Desastres, planificación y desarrollo: manejo de amenazas naturales para reducir los daños*. Washington D.C.: United Editors, 1991. 81 p.
8. Gobierno de los Estados Unidos, Oficina de Asuntos Latinoamericanos. *The Guatemalan earthquake of February 4th, 1976: Final Report*. EEUU: United States Government Printing Office, 1976. 90 p.
9. LEICHMANN, Francis. *Reparación de muros de mampostería*. Santiago de Chile: Austral, 1979. 190 p.
10. MCCORMACK, Jack C. *Diseño de acero estructural*. 2a ed. México D.F.: Limusa, 1971. 187 p.
11. MERRITT, Frederick S. *Manual del Ingeniero Civil*. Vol. II. 3a ed. México D.F.: McGraw-Hill, 1999. 412 p.
12. RECINOS, José Antonio. *Estudio de las características fisicomecánicas del adobe estabilizado con cal para la aldea Xepol del municipio de Chichicastenango*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1987. 97 p.
13. ROBLES, Francisco; FERNÁNDEZ, Ramón. *Estructuras de madera*. 2a ed. México D.F.: Limusa, 1983. 171 p.

14. ROSENBLUETH, Emilio. *Diseño de estructuras resistentes a sismos*. México D.F.: Limusa, 1992. 121 p.
15. Servicio Nacional de Aprendizaje de Papayán. *Como inspeccionar y evaluar una casa dañada por un sismo: Programa de Reconstrucción*. Colombia: Santamarina, 1983. 147 p.
16. SOWERS, George B. *Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*. México D.F.: Limusa, 1983. 679 p.
17. WAKABAYASHI, Minoru. *Diseño de estructuras sismoresistentes*. 3a ed. Chicago: McGraw-Hill, 1998. 258 p.

APÉNDICES

HABITABLE

FECHA DE EVALUACIÓN:

HORA:

EVALUADOR:

***COLOR VERDE**

NO HABITABLE INGRESO LIMITADO REQUIERE INSPECCIÓN

FECHA DE EVALUACIÓN:

HORA:

EVALUADOR:

***COLOR AMARILLO**

**NO
HABITABLE
PELIGRO
REQUIERE INSPECCIÓN**

FECHA DE EVALUACIÓN:

HORA:

EVALUADOR:

***COLOR AMARILLO CON ROJO**

**PROHIBIDO
EL INGRESO**

FECHA DE EVALUACIÓN:

HORA:

EVALUADOR:

***COLOR ROJO**

DAÑO GEOTÉCNICO

FECHA DE EVALUACIÓN:

HORA:

EVALUADOR:

*COLOR MORADO