



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

**REVISIÓN DE LOS ASPECTOS SÍSMICOS Y DEL MÉTODO DE LA CARGA SÍSMICA ESTÁTICA
EQUIVALENTE DE LA NORMA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS
DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES EDICIÓN 2010**

Ana Lucía Argueta Policarpio

Asesorado por el Ing. Marco Antonio García Díaz

Guatemala, enero de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REVISIÓN DE LOS ASPECTOS SÍSMICOS Y DEL MÉTODO DE LA CARGA SÍSMICA ESTÁTICA
EQUIVALENTE DE LA NORMA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS
DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES EDICIÓN 2010**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANA LUCÍA ARGUETA POLICARPIO
ASESORADO POR EL ING. MARCO ANTONIO GARCÍA DÍAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2014

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 | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Walter Rafael Véliz Munoz |
| VOCAL V | Br. Sergio Alejandro Donis Soto |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Salvador Gordillo García |
| EXAMINADOR | Ing. Fernando Amílcar Boiton Velásquez |
| EXAMINADOR | Ing. Alejandro Castañón López |
| 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:

REVISIÓN DE LOS ASPECTOS SÍSMICOS Y DEL MÉTODO DE LA CARGA SÍSMICA ESTÁTICA EQUIVALENTE DE LA NORMA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES EDICIÓN 2010

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


Ana Lucía Argueta Policarpio

Guatemala, 11 de Octubre de 2013

Ingeniero:

Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras
Escuela de ingeniería Civil
Universidad San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Galindo:

Por este medio hago de su conocimiento que he concluido con el asesoramiento de la estudiante universitaria ANA LUCÍA ARGUETA POLICARPIO, en el desarrollo del trabajo de graduación titulado: **"REVISIÓN DE LOS ASPECTOS SÍSMICOS Y DEL MÉTODO DE LA CARGA SÍSMICA ESTÁTICA EQUIVALENTE DE LA NORMA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPUBLICA DE GUATEMALA AGIES EDICIÓN 2010"**, después de haber revisado y corregido su contenido, sin encontrar alguna objeción al respecto, doy mi satisfactoria aprobación al mencionado trabajo de graduación.

El autor de este trabajo de graduación y su asesor son responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente,



Ing. Marco Antonio García Díaz

Ingeniero Civil
Colegiado 6,899

Asesor

Marco Antonio García Díaz
Ingeniero Civil
Colegiado No. 6899



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
28 de noviembre de 2013

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 REVISIÓN DE LOS ASPECTOS SÍSMICOS Y DEL MÉTODO DE LA CARGA SÍSMICA ESTÁTICA EQUIVALENTE DE LA NORMA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES EDICIÓN 2010, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Ana Lucía Argueta Policarpio, quien contó con la asesoría del Ing. Marco Antonio García Díaz.

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


Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Marco Antonio García Díaz y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación de la estudiante Ana Lucía Argueta Policarpio, titulado **REVISIÓN DE LOS ASPECTOS SÍSMICOS Y DEL MÉTODO DE LA CARGA SÍSMICA ESTÁTICA EQUIVALENTE DE LA NORMA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES EDICIÓN 2010**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero de 2014.

Más de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





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: **REVISIÓN DE LOS ASPECTOS SÍSMICOS Y DEL MÉTODO DE LA CARGA SÍSMICA ESTÁTICA EQUIVALENTE DE LA NORMA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES EDICIÓN 2010**, presentado por la estudiante universitaria: **Ana Lucía Argueta Poliarpio**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olimpo Paiz Rosinos
Decano



Guatemala, enero de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser mi guía y fuente de iluminación, sobre todo por bendecirme ayudándome a concluir mi sueño anhelado.
- Mi madre** Ana María Policarpio, por su apoyo incondicional, entrega y amor para transmitirme sabiduría en momentos difíciles.
- Mi padre** Juan René Argueta López (q.e.p.d.), por el apoyo brindado hasta el final de sus días, siendo este trabajo de graduación un pequeño reconocimiento a su memoria.
- Mis hermanos** Ángel René y Anael Juan Manuel Argueta Policarpio, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera.
- Mis sobrinos** Manuel, Diego y Valery Argueta, por llenar mi vida de diferentes colores que forman sonrisas y buenos momentos en mi vida.
- María de Jesús Flores** Por haber dedicado su vida al cuidado de nuestra familia y formar parte de ella.

- Mi prima** Gayle Policarpio, por su amistad y apoyo incondicional en mi vida
- Mi cuñada** Vanessa Castillo, por formar parte de mi vida e integrarse a mi familia, con amor y devoción, forjando un cariño de gran amistad y confianza.
- Mi cuñada** Zenaida Aguilar, por su apoyo incondicional y formar parte de nuestra familia.
- Mi familia** Por el apoyo recibido no solo en el ámbito profesional, sino también personal y espiritual, que me han llenado de enseñanzas y han hecho de mí la persona quien soy.
- Mis amigos** Por su apoyo, paciencia y amistad sincera en las diferentes luchas compartidas y superadas.

AGRADECIMIENTOS A:

| | |
|--|--|
| La Universidad de San Carlos de Guatemala | Por abrirme las puertas a una preparación profesional, para aplicarlos en el futuro en beneficio de mi país y donde fuere necesario. |
| Facultad de Ingeniería | Por los múltiples conocimientos que me ha brindado durante todos estos años de estudio. |
| Instituto Técnico Industrial Georg Kerschensteiner | Por la educación recibida y por las experiencias vividas durante mi paso en el establecimiento. |
| Instituto Experimental Licitado Julio César Méndez Montenegro | Por la educación recibida y las bellas experiencias de mi juventud las cuales serán inolvidables. |
| Escuela Nacional Urbana San Benito | Que fue la base de mi preparación educativa. |
| Mi asesor | Ing. Marco Antonio García Díaz, por su apoyo en la elaboración de mi trabajo de graduación y por brindarme su amistad. |
| INSIVUMEH | Por haberme facilitado documentación importante, para la investigación de mi trabajo de graduación. |

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | VII |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XI |
| GLOSARIO | XIII |
| RESUMEN..... | XV |
| OBJETIVOS..... | XVII |
| INTRODUCCIÓN | XIX |
| | |
| 1. CONCEPTOS BÁSICOS..... | 1 |
| 1.1. Aspectos teóricos | 1 |
| 1.1.1 Sismo..... | 1 |
| 1.1.2. Hipocentro | 7 |
| 1.1.3. Epicentro..... | 7 |
| 1.1.4. <i>Tsunamis</i> (maremotos)..... | 8 |
| 1.2. Aspectos teóricos del diseño estructural | 10 |
| 1.2.1. Índice de sismicidad (I_0)..... | 10 |
| 1.2.2. Período de la estructura | 11 |
| 1.2.3. Espectro de respuesta..... | 12 |
| 1.2.4. Ordenada espectral | 14 |
| 1.2.5. Períodos de vibración del sismo | 14 |
| 1.2.6. Velocidad de onda | 14 |
| 1.3. Ondas sísmicas | 14 |
| 1.3.1. Ondas internas (profundas) | 15 |
| 1.3.1.1. Ondas primarias (P)..... | 15 |
| 1.3.1.2. Ondas secundarias (S) | 16 |
| 1.3.2. Ondas superficiales | 16 |

| | | | |
|------|----------|--|----|
| | 1.3.2.1. | Ondas <i>Love</i> (L)..... | 17 |
| | 1.3.2.2. | Ondas <i>Rayleigh</i> (R)..... | 17 |
| 1.4. | | Tamaño de los sismos | 18 |
| | 1.4.1. | Intensidad sísmica..... | 19 |
| | 1.4.1.1. | Escala de Mercalli Modificada | 19 |
| | 1.4.2. | Magnitud sísmica | 22 |
| | 1.4.2.2. | Escala de Richter | 22 |
| 1.5. | | Instrumentos de medición sísmica | 24 |
| | 1.5.1. | Sismógrafo | 24 |
| | 1.5.2. | Acelerógrafo | 33 |
| 1.6. | | Aspectos sísmicos de Guatemala | 34 |
| | 1.6.1. | Placas y fallas de la República de Guatemala | 36 |
| | 1.6.1.1. | Placas tectónicas | 36 |
| | 1.6.1.2. | Fallas geológicas..... | 42 |
| 2. | | REVISIÓN DEL ANÁLISIS SÍSMICO SEGÚN LA NORMA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES EDICIÓN 2010 | 47 |
| | 2.1. | Tipos de sistemas estructurales..... | 47 |
| | 2.1.1. | Sistema de marcos (E1)..... | 47 |
| | 2.1.2. | Sistema de cajón (E2) | 52 |
| | 2.1.3. | Sistema combinado de marcos y muros (E3)..... | 56 |
| | 2.1.4. | Sistema dual (E4)..... | 57 |
| | 2.1.5. | Soportes en voladizo (E5-1) | 58 |
| | 2.1.6. | Péndulo invertido (E5-2)..... | 58 |
| | 2.2. | Categoría ocupacional..... | 59 |
| | 2.3. | Mapa de zonificación sísmica | 61 |
| | 2.4. | Clasificación de sismos..... | 65 |

| | | |
|----------|--|----|
| 2.4.1. | Sismo mínimo | 65 |
| 2.4.2. | Sismo básico | 66 |
| 2.4.3. | Sismo severo | 66 |
| 2.4.4. | Sismo extremo..... | 66 |
| 2.5. | Clasificación de sitio | 66 |
| 2.5.1. | Perfil de suelo clase AB..... | 67 |
| 2.5.2. | Perfil de suelo clase C,D y E | 67 |
| 2.5.3. | Perfil de suelo clase F | 68 |
| 2.6. | Zonas de precaución especial | 69 |
| 2.6.1. | Talud en barrancos..... | 69 |
| 2.6.2. | Terrenos inclinados | 70 |
| 2.6.3. | Franjas de terrenos falladas | 71 |
| 2.6.4. | Arenales y suelos granulares..... | 73 |
| 2.6.5. | Litorales, riberas y playas | 74 |
| 2.7. | Criterio de diseño para estructuras sismorresistentes..... | 76 |
| 2.7.1. | Simetría | 76 |
| 2.7.2. | Distribución de muros..... | 78 |
| 2.7.3. | Rigidez torsional | 79 |
| 2.8. | Condiciones básicas para utilizar el método estático equivalente | 80 |
| 3. | EJEMPLIFICACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL SEGÚN EL MÉTODO ESTÁTICO ESQUIVALENTE | 85 |
| 3.1. | Ejemplo para sistema de marcos (E1)..... | 85 |
| 3.1.1. | Datos básicos de ejemplo..... | 85 |
| 3.1.1.1. | Esquemas planta y elevación | 86 |
| 3.1.2. | Cálculo de metros lineales..... | 87 |
| 3.1.3. | Cálculo de espesor de losa..... | 87 |
| 3.1.4. | Integración de peso estructural..... | 88 |

| | | | |
|--------|----------|--|-----|
| | 3.1.4.1. | Cálculo de carga muerta | 88 |
| | 3.1.4.2. | Cálculo de carga viva | 90 |
| | 3.1.4.3. | Cálculo de peso total | 90 |
| 3.1.5. | | Cálculo de corte basal según método estático equivalente | 91 |
| | 3.1.5.1. | Cálculo de ordenada espectral ajustada | 92 |
| | 3.1.5.2. | Cálculo del espectro calibrado al nivel de diseño | 96 |
| | 3.1.5.3. | Cálculo de ordenada espectral para cualquier período de vibración | 97 |
| | 3.1.5.4. | Cálculo de período fundamental | 98 |
| | 3.1.5.5. | Cálculo del período expresado en segundos | 100 |
| | 3.1.5.6. | Cálculo de coeficiente sísmico | 101 |
| | 3.1.5.7. | Cálculo del valor de corte basal | 103 |
| 3.1.6. | | Distribución de fuerzas sísmicas por nivel | 104 |
| 3.1.7. | | Determinación de las fuerzas sísmicas en los diferentes marcos | 106 |
| | 3.1.7.1. | Cálculo del rigidez | 106 |
| | 3.1.7.2. | Cálculo del corte directo | 109 |
| | 3.1.7.3. | Cálculo de centro de torsión | 110 |
| | 3.1.7.4. | Cálculo de cortante por torsión | 112 |
| | 3.1.7.5. | Cálculo de corte total | 112 |
| | 3.1.7.6. | Resumen | 113 |
| 3.2. | | Ejemplo para sistemas tipo cajón (E2) | 114 |
| | 3.2.1. | Datos básicos de ejemplo | 114 |
| | 3.2.1.1. | Esquemas planta y elevación | 115 |
| | 3.2.2. | Cálculo de metros lineales | 116 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3.2.3. | Cálculo de espesor de losa..... | 116 |
| 3.2.4. | Integración de peso estructural..... | 117 |
| 3.2.4.1. | Cálculo de carga muerta..... | 117 |
| 3.2.4.2. | Cálculo de carga viva | 120 |
| 3.2.4.3. | Cálculo de peso total | 120 |
| 3.2.5. | Cálculo de corte basal según método estático equivalente | 122 |
| 3.2.5.1. | Cálculo de ordenada espectral ajustada..... | 122 |
| 3.2.5.2. | Cálculo del espectro calibrado al nivel de diseño..... | 124 |
| 3.2.5.3. | Cálculo de ordenada espectral para cualquier período de vibración..... | 125 |
| 3.2.5.4. | Cálculo de período fundamental | 126 |
| 3.2.5.5. | Cálculo de período expresado en segundos..... | 127 |
| 3.2.5.6. | Cálculo de coeficiente sísmico..... | 128 |
| 3.2.5.7. | Cálculo del valor de corte basal..... | 130 |
| 3.2.6. | Distribución de fuerzas sísmicas por nivel | 130 |
| 3.2.7. | Determinación de las fuerzas sísmicas en los diferentes marcos | 134 |
| 3.2.7.1. | Cálculo del rigidez | 134 |
| 3.2.7.2. | Cálculo del corte directo | 137 |
| 3.2.7.3. | Cálculo de centro de torsión | 137 |
| 3.2.7.4. | Cálculo de cortante por torsión | 139 |
| 3.2.7.5. | Cálculo de corte total | 140 |
| 3.2.7.6. | Resumen | 140 |
| | CONCLUSIONES | 143 |

RECOMENDACIONES 145
BIBLIOGRAFÍA..... 147
ANEXOS..... 149

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Epicentro terremoto de 1976 | 2 |
| 2. | Iglesia del Cerro del Carmen antes del terremoto | 3 |
| 3. | Iglesia del Cerro del Carmen después del terremoto | 3 |
| 4. | Epicentro terremoto 2012..... | 4 |
| 5. | Casa ubicada en zona 3, San Marcos | 5 |
| 6. | Casa de bahareque, zona 3 San Marcos | 5 |
| 7. | Epicentro e hipocentro | 8 |
| 8. | <i>Tsunami</i> | 9 |
| 9. | Resonancia según altura | 11 |
| 10. | Espectro de respuesta (deformación, velocidad) | 13 |
| 11. | Espectro de respuesta (aceleración) | 13 |
| 12. | Ondas primarias | 15 |
| 13. | Ondas secundarias | 16 |
| 14. | Ondas <i>Love</i> | 17 |
| 15. | Ondas <i>Rayleigh</i> | 18 |
| 16. | Gráfica de sismograma | 24 |
| 17. | Sismógrafo | 25 |
| 18. | Esquema de los componentes de un sismógrafo | 26 |
| 19. | Sismograma San Marcos 7 de noviembre de 2012 | 30 |
| 20. | Mapa de red sismológica de Guatemala | 32 |
| 21. | Acelerógrafo Kinematics K-2 | 34 |
| 22. | Cinturón de Fuego | 35 |
| 23. | Placas tectónicas mundiales | 37 |

| | | |
|-----|---|----|
| 24. | Límites divergentes | 38 |
| 25. | Límites convergentes | 39 |
| 26. | Límites transcurrentes | 39 |
| 27. | Placas tectónicas de Guatemala | 40 |
| 28. | Zona de subducción de Guatemala | 41 |
| 29. | Falla normal | 43 |
| 30. | Falla inversa | 43 |
| 31. | Falla de desgarre | 44 |
| 32. | Fallas geológicas de Guatemala | 46 |
| 33. | Estructuración de sistema de marcos | 48 |
| 34. | Ejemplo de sistema tipo marcos | 48 |
| 35. | Configuraciones de breizas | 50 |
| 36. | Ejemplo de ubicación de muros de corte | 51 |
| 37. | Algunos tipos de configuraciones de contrafuertes | 51 |
| 38. | Estructuración de sistema tipo cajón | 52 |
| 39. | Ejemplo de mampostería mixta reforzada | 54 |
| 40. | Ejemplo sistema tipo cajón (fundición en serie) | 55 |
| 41. | Estructuración de sistema combinado | 56 |
| 42. | Ejemplo sistema dual | 57 |
| 43. | Ejemplo de estructura con soportes en voladizo | 58 |
| 44. | Ejemplo estructura péndulo invertido | 59 |
| 45. | Mapa de zonificación sísmica | 62 |
| 46. | Distancia mínima para ubicación de obra | 70 |
| 47. | Mapa de zonas de amenaza de inundaciones | 75 |
| 48. | Ejemplo de plantas complejas | 77 |
| 49. | Ejemplo de elevaciones complejas | 78 |
| 50. | Ejemplos de arreglos que generan torsión | 80 |
| 51. | Planta arquitectónica | 86 |
| 52. | Elevación arquitectónica | 87 |

| | | |
|-----|------------------------------------|-----|
| 53. | Esquema de fuerzas por nivel | 106 |
| 54. | Centro de torsión eje X y Y | 111 |
| 55. | Plata arquitectónica | 115 |
| 56. | Elevación arquitectónica | 116 |
| 57. | Esquema de fuerzas por nivel | 133 |
| 58. | Centro de torsión eje X y Y | 138 |

TABLAS

| | | |
|--------|--|----|
| I. | Escala de Mercalli Modificada | 21 |
| II. | Escala de Richter | 22 |
| III. | Magnitud comparada con masa TNT | 23 |
| IV. | Factor N_a para períodos cortos de vibración | 63 |
| V. | Factor N_v para períodos largos de vibración..... | 64 |
| VI. | Tipo de fuente sísmica..... | 64 |
| VII. | Guía para la clasificación de sitio | 69 |
| VIII. | Coeficiente L_o | 79 |
| IX. | Características de irregularidades en planta | 82 |
| X. | Características de irregularidades en elevación | 83 |
| XI. | Nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad de sismo | 84 |
| XII. | Tabla resumen CM primer nivel..... | 89 |
| XIII. | Tabla resumen CM segundo nivel | 90 |
| XIV. | Nivel mínimo de protección sísmica | 93 |
| XV. | Coeficiente de sitio F_a | 93 |
| XVI. | Coeficiente se sitio F_v | 94 |
| XVII. | Amenazas especiales | 95 |
| XVIII. | Factor N_a para períodos cortos de vibración | 96 |
| XIX. | Factor N_v para períodos largos de vibración | 96 |
| XX. | Factor de determinación del nivel de diseño | 97 |

| | | |
|----------|--|-----|
| XXI. | Comparación de períodos..... | 101 |
| XXII. | Coeficiente y factores para diseño de sistemas sismorresistentes..... | 102 |
| XXIII. | Peso y altura por nivel | 105 |
| XXIV. | Fuerzas por nivel..... | 105 |
| XXV. | Resumen fuerzas sísmicas eje X | 113 |
| XXVI. | Resumen fuerzas sísmicas eje Y | 113 |
| XXVII. | Tabla resumen CM primer nivel..... | 118 |
| XXVIII. | Tabla resumen CM segundo nivel | 119 |
| XXIX. | Tabla resumen CM tercer nivel..... | 120 |
| XXX. | Coeficiente de sitio F_a | 123 |
| XXXI. | Coeficiente de sitio F_v | 124 |
| XXXII. | Factor de determinación del nivel de diseño | 125 |
| XXXIII. | Comparación de períodos | 127 |
| XXXIV. | Coeficiente y factores de diseño de sistemas sismorresistentes..... | 129 |
| XXXV. | Peso y altura por nivel..... | 132 |
| XXXVI. | Fuerzas por nivel..... | 133 |
| XXXVII. | Resumen de fuerzas sísmicas eje X | 141 |
| XXXVIII. | Resumen de fuerzas sísmicas eje Y | 141 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|----------------|---|
| h_n | Altura total del edificio desde la base |
| AGIES | Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales y Sísmicos |
| CM | Carga Muerta |
| CV | Carga Viva |
| X_T | Centro de torsión eje X |
| Y_T | Centro de torsión eje Y |
| F_a | Coeficiente de sitio para períodos de vibración cortos |
| F_v | Coeficiente de sitio para períodos de vibración largos |
| N_a | Coeficiente por proximidad de las amenazas especiales para periodos de vibración cortos |
| N_v | Coeficiente por proximidad de las amenazas especiales para periodos de vibración largos |
| C_s | Coeficiente sísmico de diseño |
| V_B | Corte Basal |
| F_x | Cortante de cedencia en el nivel x |
| V_{ix} | Cortante por torsión |
| V_{total} | Cortante total |
| V_{di} | Corte directo |
| S_{cd} | Espectro calibrado al nivel de diseño |
| S_{1d} | Espectro calibrado al nivel de diseño con período de 1 segundo |
| t | Espesor de losa |

| | |
|----------------------------|--|
| K_d | Factor de determinación de los niveles de diseño |
| R | Factor de reducción de respuesta sísmica |
| I_o | Índice de sismicidad |
| kg | Kilógramos |
| MEE | Método Estático Equivalente |
| ml | metros lineales |
| M_{TX} | Momento torsor en el eje X |
| M_{TY} | Momento torsor en el eje Y |
| NSE | Norma de Seguridad Estructural |
| S_{cs} | Ordenada espectral ajustada |
| S_{1s} | Ordenada espectral ajustada con período de vibración 1 segundo |
| S_{1r} | Ordenada espectral de período 1 segundo |
| S_{cr} | Ordenada espectral de período corto |
| $S_a(T)$ | Ordenada espectral para cualquier período de vibración T |
| T_a | Período de vibración empírico |
| T_s | Período expresado en segundos |
| T | Período fundamental de vibración de la estructura |
| W_s | Peso total de la estructura |
| R_i | Rigidez |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------------|--|
| AGIES | Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. |
| Corte basal | Total de fuerzas sísmicas que actúan sobre la estructura y se distribuyen a lo alto de la misma. Representa la fuerza equivalente al peso de la estructura por un coeficiente sísmico de diseño. |
| Epicentro | Es el punto en la superficie de la tierra ubicado directamente sobre el punto donde se genera el sismo. |
| Falla | Es una fractura entre dos bloques de terreno que se desplazan de forma vertical u horizontal uno con respecto a otro. |
| Índice de sismicidad | Es una medida relativa de la severidad esperada de un sismo en un lugar. |
| Intensidad | Medida de los efectos producidos por un sismo en las construcciones y el impacto que provoca en las personas. Para determinar la intensidad de un sismo se utiliza la escala de Mercalli Modificada. |

| | |
|--------------------------|--|
| Hipocentro o foco | Es el punto en el interior de la tierra en el cual se genera el sismo. |
| Magnitud | Es la medición de la cantidad de energía liberada en el hipocentro en forma de ondas sísmicas. Se determina por medio de instrumentos y para su determinación se utiliza la escala de Richter. |
| Ondas sísmicas | Es energía que se dispersa a partir del hipocentro y viajan a través de la tierra. |
| Período | Es el tiempo que demora un sistema que vibra en realizar un ciclo completo de movimiento, normalmente se mide en segundos. |
| Sismo | Es un movimiento de tierra de origen natural o artificial que provoca una liberación de energía que se propaga en forma de ondas que se mueven en todas direcciones. |

RESUMEN

Guatemala es un país con mucha actividad sísmica, es por ello que es necesario realizar un buen análisis y diseño estructural; con base en métodos adecuados según las características de las obras a edificar.

El reto para un ingeniero es diseñar estructuras de manera que el daño sea controlado dentro de un rango aceptable; obviamente el diseño fracasará si el sismo causa daños severos los cuales no pueden ser reparados o si produce el colapso de la estructura.

La Norma de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala AGIES edición 2010 hace mención de dos métodos de análisis sísmico: el método estático equivalente y el método de análisis modal espectral. En este trabajo de graduación se analizará y ejemplificará solamente el método estático equivalente.

El método estático equivalente es el más simple y de fácil aplicación, por ende es el más utilizado por los diseñadores. Este método se basa en representar el sismo como una fuerza estática horizontal que se aplica en la base de la estructura (corte basal).

El método estático equivalente se podrá utilizar solamente en estructuras que cumplan ciertas condiciones; como lo son: obras ordinarias y utilitarias que tengan como máximo 3 niveles de altura sobre la base, en estructuras con nivel de protección B o C, en estructuras sin ninguna irregularidad en planta o en

elevación que no excedan 50 metros de altura sobre la base y en estructuras que tengan irregularidades siempre que no excedan 30 metros de altura.

OBJETIVOS

General

Realizar una revisión y ejemplificación de la Norma de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para una posterior divulgación acerca de su importancia en el territorio nacional y una mejor aplicación en la seguridad estructural.

Específicos

1. Ampliar los conocimientos teóricos sobre los sismos, el modo en que se generan y los daños que provocan.
2. Realizar ejemplificaciones de la aplicación de la Norma de Seguridad Estructural de Especificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala según el método estático equivalente.
3. Compilar la NSE AGIES edición 2010 en los aspectos sísmicos para que personas encargadas en el diseño estructural tengan bases sólidas para mejores construcciones.
4. Divulgar el método estático equivalente para que sea accesible y aplicable en construcciones sino resistentes en el país.

5. Conocer las condiciones básicas para la aplicación del método estático equivalente según AGIES 2010 que se basa en parámetros aplicables en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

Con el desarrollo de esta investigación se pretende que el estudiante y profesional pueda poseer el conocimiento teórico, sobre como deben aplicarse las Normas de Seguridad Estructural de Edificaciones y Obras de Infraestructura para la República de Guatemala según la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), edición 2010; para así poder ser capaz de realizar diseños estructurales para edificaciones que puedan soportar cargas transitorias de sismos.

Para salvaguardar la mayor cantidad de vidas posibles ante eventos catastróficos es necesario analizar y diseñar las estructuras con el método de análisis sismorresistente más adecuado, las cuales darán lugar a construcciones más seguras.

En este trabajo se analizará el método estático equivalente y se realizará una ejemplificación del mismo; ya que no se puede garantizar una condición de riesgo cero, pero si se puede realizar un buen diseño estructural para minimizar las probabilidades de daños.

1. CONCEPTOS BÁSICOS

1.1. Aspectos teóricos

Los sismos pueden provocar daños significativos en las estructuras, por ello es necesario conocer cuáles son cada uno de estos aspectos para tomarlos en cuenta en la realización del diseño estructural de edificaciones. De esta manera poder reducir daños al momento de un evento sísmico.

Los sismos son estudiados por la sismología que es una rama de la geofísica, la cual se encarga del estudio de los sismos o terremotos y se basa en la observación de las vibraciones naturales del terreno y de las generadas artificialmente.

A continuación se describen conceptos básicos para entender los aspectos sísmicos de Guatemala.

1.1.1. Sismo

Se deriva de la palabra griega *seien* que significa movimiento. Es un movimiento de la tierra de origen natural o artificial que provoca una liberación de energía que se propaga en forma de ondas que se mueven en todas direcciones; longitudinalmente y transversalmente.

Los sismos son vibraciones de la corteza terrestres provocadas por las fallas subterráneas del suelo. Ocurren varias veces al día en diversas partes del mundo, son pocos sismos los de gran magnitud que generan daños

significativos; siendo el sismo de Valdivia (Chile) el más fuerte registrado en la historia, el 22 de mayo de 1960 y tuvo una magnitud 9,5 en la escala de Richter.

En Guatemala el movimiento más fuerte registrado en la historia es el ocurrido el 4 de febrero de 1976; con una magnitud de 7,5 grados en la escala de Richter y una duración de 39 segundos la cual afecto la tercera parte de toda la república; generando 22 778 pérdidas humanas, 76 504 heridos y grandes daños en estructuras en todo el país; siendo las zonas de oriente, norte y la zona central del país las más afectadas, (ver figuras 1, 2 y 3).

Figura 1. **Epicentro terremoto de 1976**



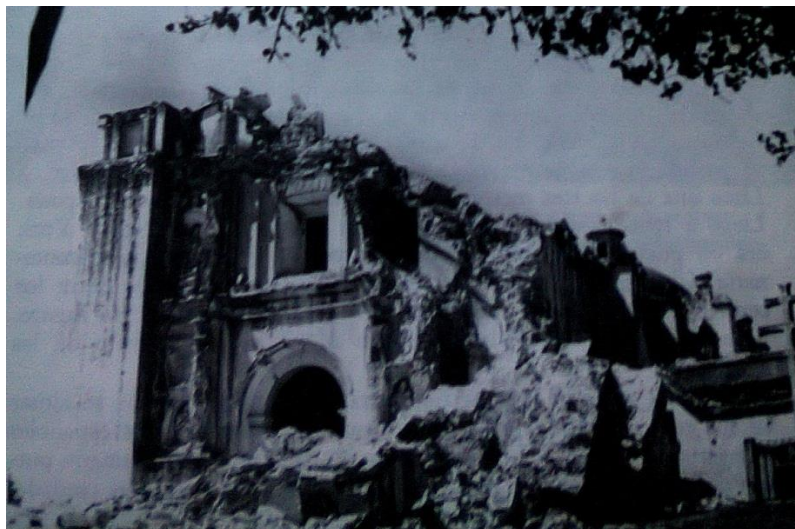
Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Figura 2. **Iglesia del Cerro del Carmen antes del terremoto**



Fuente: REVILLA, Benedicto. Guatemala: el terremoto de los pobres. p. 45.

Figura 3. **Iglesia del Cerro del Carmen después del terremoto**



Fuente: REVILLA, Benedicto. Guatemala: el terremoto de los pobres. p. 45.

El evento sísmico más reciente hasta la fecha es; el terremoto del 7 de noviembre del 2012; con una magnitud de 7,2 grados en la escala de Richter y una duración de aproximadamente 47,8 segundos; cuyo origen fue frente a las costas de Retalhuleu a unos 200 kilómetros de la capital. Siendo San Marcos el departamento más afectado del país; se reportaron 45 personas fallecidas (CONRED, noviembre de 2012) y varias casas que se declararon inhabitables por los grandes daños en las mismas, esto con el fin de salvaguardar la vida de sus ocupantes, (ver figuras 4, 5 y 6).

Figura 4. **Epicentro terremoto 2012**



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Figura 5. **Casa ubicada en zona 3, San Marcos**



Fuente: San Marcos 8 de noviembre de 2012.

Figura 6. **Casa de bahareque, zona 3 San Marcos**



Fuente: San Marcos 8 de noviembre de 2012.

Existen tres clases de movimientos sísmicos: tectónicos, volcánicos y artificiales.

- Los movimientos tectónicos se producen por los diferentes deslizamientos que ocurren entre las placas, así mismo los producidos por fallas. Siendo estos movimientos los más devastadores y los más estudiados en ingeniería.

El terremoto del 4 de febrero de 1976 se debió a un movimiento de la falla del Motagua, que forma la frontera tectónica entre las placas Norteamericana y la placa del Caribe. Sintiendo este movimiento desde Puerto Barrios en el oriente hasta Chimaltenango en el occidente.

El terremoto del 7 de noviembre del 2012 se originó entre la placa de Cocos y la placa del Caribe; en la llamada zona de subducción, que se localiza en las costas del pacífico del país.

- Los movimientos volcánicos están directamente relacionados con erupciones, son de poca intensidad y solo se perciben a cierta distancia del volcán.

Guatemala cuenta con 37 volcanes reconocidos según la *Guía de volcanes de Guatemala*, entre los cuales 5 de ellos se mantienen activos hasta la fecha; volcán Tacaná, Santa María, Santiaguito, Fuego y Pacaya.

El volcán de Pacaya ubicado en el municipio de San Vicente Pacaya presenta actividad desde 1565; la última actividad de gran magnitud para el país se produjo el 27 de mayo del 2010 a las 19:00 horas, la erupción

del volcán produjo una lluvia de arena volcánica en toda la ciudad de Guatemala, Escuintla y Sacatepéquez.

- Las artificiales son producto de explosiones superficiales o subterráneas que se realizan con distinto propósito.

En Guatemala los movimientos artificiales se originan en las cercanías de las minas y los depósitos donde se extraen materiales de las montañas.

1.1.2. Hipocentro

También llamado foco sísmico; punto debajo de la superficie donde se origina el sismo. También corresponde al punto en el cual se produce la fractura de la corteza terrestre y la liberación de energía.

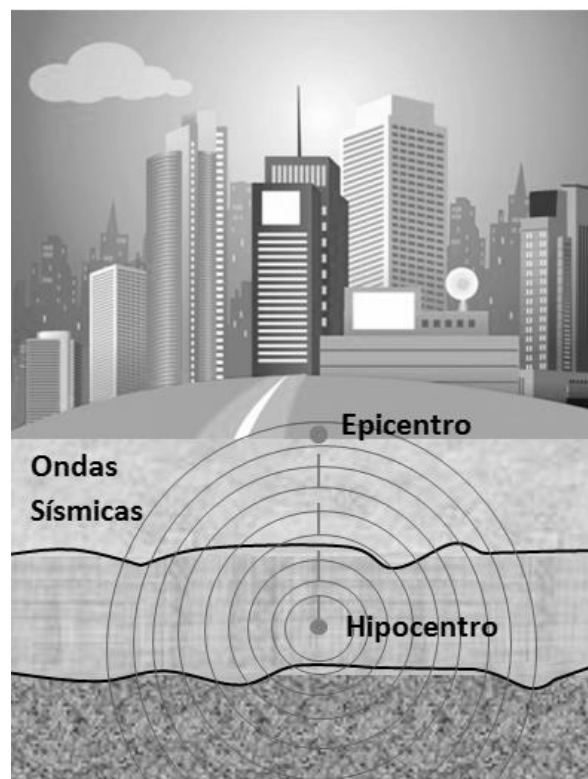
- Foco poco profundo: cuando el sismo se origina a menos de 70 kilómetros de profundidad, a este tipo de sismos se le denomina superficial.
- Foco intermedio: si ocurre entre los 70 y 300 kilómetros bajo la superficie.
- Foco profundo: si sobre pasa los 300 kilómetros, (ver figura 7).

1.1.3. Epicentro

Punto sobre la superficie directamente encima del hipocentro. Lugar sobre la superficie donde se siente con mayor intensidad el sismo y desde donde se generan las ondas superficiales las cuales pueden causar catástrofes según la intensidad del sismo.

Los daños en las estructuras van relacionados con el tipo de suelo en el que se encuentran construidos; ya que en suelos blandos las ondas se intensifican con mayor facilidad, mientras que es suelos rígidos las ondas se sienten con menor intensidad.

Figura 7. **Epicentro e hipocentro**



Fuente: elaboración propia, con programa Word 2010.

1.1.4. ***Tsunamis* (maremotos)**

Tsunami palabra de origen japonés que significa grandes olas dentro de las bahías. Los *tsunamis* se producen por erupciones volcánicas y temblores submarinos que generan olas de gran tamaño que atraviesan el océano con

una velocidad que depende de la profundidad de las aguas y revientan con una gran fuerza al contacto con la tierra provocando grandes daños.

El *tsunami* más reciente hasta la fecha se dio el 11 de marzo del 2011 en las costas del Pacífico de Japón; con una magnitud de 9,0 grados en la escala de Richter el cual duro aproximadamente 6 minutos; generando olas de hasta 40,5 metros de altura. Este *tsunami* se generó por el movimiento de la zona de subducción entre la placa del Pacífico y placa Norteamericana; lamentando a su paso 230 000 pérdidas humanas.

El *tsunami* más poderoso de los últimos años se dio el 26 de diciembre del 2004 en el sudeste asiático frente a la isla Indonesia; el terremoto generó una serie de *tsunamis* a lo largo de las costas del océano Índico. La magnitud del sismo fue de 9,3 en la escala de Richter el cual tuvo una duración de 10 minutos; siendo este el segundo sismo más grande registrado en la historia. Este *tsunami* cobro la vida de alrededor de 275 000 personas sin contar con las personas que permanecen desaparecidas, según Naciones Unidas.

Figura 8. ***Tsunami***



Fuente: <http://www.ensegundos.net/2011/03/17/un-indonesio-sobrevive-los-tsunamis-de-japon-y-de-2004/>. Consulta: 12 de junio de 2013.

1.2. Aspectos teóricos del diseño estructural

El aspecto de mayor importancia para resistir fuerzas sísmicas se basa en un sistema estructural sismorresistente, la mayoría de estos sistemas se compone de una combinación de elementos horizontalmente distribuidos; aunque no se debe sorprender que los edificios sufran daños durante un movimiento sísmico.

El reto para los ingenieros es diseñar estructuras de forma que el daño sea controlado; esto quiere decir que no sufra daños irreparables y que pueda seguir prestando su función, ya que si el diseño fracasara podría causar daños severos o hasta el colapso de una estructura; es por ello que se necesita conocer los aspectos sísmicos como los que se describen a continuación.

1.2.1. Índice de sismicidad (I_0)

Es una medida relativa de la severidad esperada de un sismo en un lugar. Índice de protección sísmica sobre el cual se diseñan las edificaciones, Guatemala se divide en macrozonas que varían desde $I_0=2$ o $I_0=4$; se usara $I_0=5$ en casos extremos como los son fallas geológicas activas o en zonas de precaución especial como las mencionadas en el capítulo 2 de este trabajo de graduación.

Para cada municipio del país se usará un índice de sismicidad diferente, según qué tan propenso sea el municipio a alguna actividad sísmica. Para esta clasificación se utilizara el listado de amenaza sísmica por municipios elaborado por AGIES, (ver anexos).

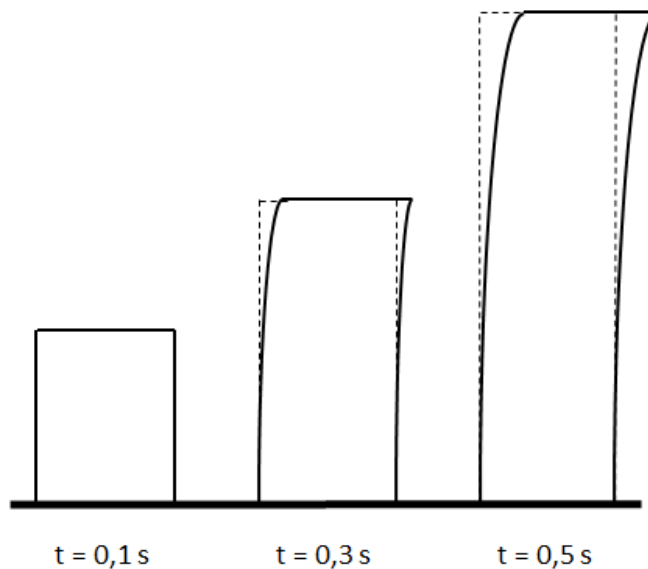
1.2.2. Período de la estructura

Intervalo de tiempo en el cual se realiza un ciclo completo de movimiento. La rigidez y la altura de la estructura son factores que influyen en el periodo, y este puede variar desde 0,1 segundos para sistemas simples, hasta varios segundos para sistemas de varios niveles.

Cuando el período de movimiento de una estructura coincide o es muy parecido al período del suelo, se produce resonancia.

Cuando un edificio entra en resonancia es muy probable que se produzca un colapso en la estructura a menos que el sismo cese rápidamente o que la ruptura de algunas partes del edificio haga que este varíe su frecuencia natural.

Figura 9. **Resonancia según altura**



Fuente: elaboración propia, con programa Word 2010.

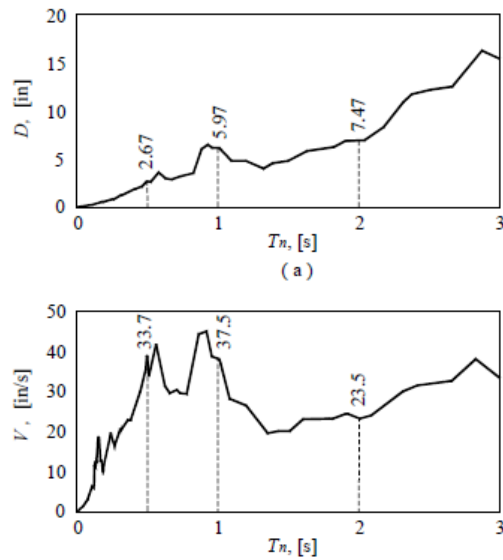
1.2.3. Espectro de respuesta

Es un valor utilizado que mide la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta. El espectro depende de dos factores: la aceleración de la vibración a la que se somete la base y del período de oscilación de la estructura, aunque la vibración de la base y la estructura sean diferentes están ligadas la una con la otra.

Un espectro de respuesta sísmica constituye una herramienta eficiente para la evaluación de las fuerzas laterales máximas inducidas en estructuras sometidas a una excitación sísmica.

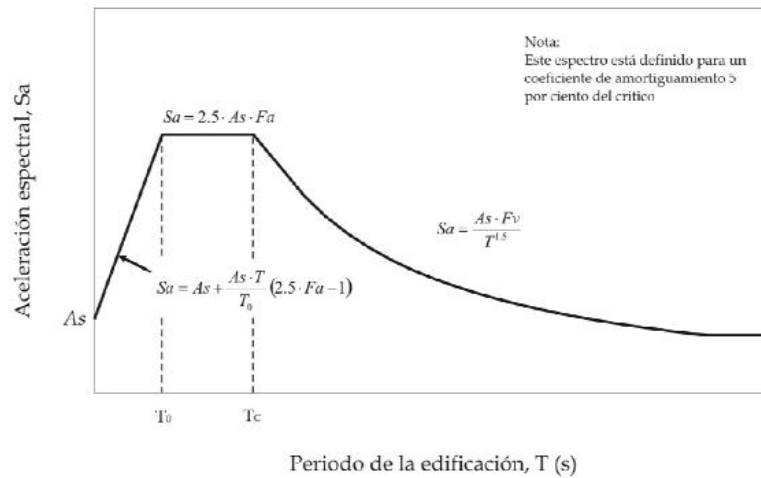
Los tres espectros proveen cantidades físicas significativas; el espectro de deformación provee la deformación pico del sistema; el espectro de pseudo velocidad está relacionado directamente con la energía pico almacenada durante un sismo; el espectro de pseudo aceleración está relacionado directamente con el valor pico de la fuerza estática equivalente y el corte basal, (ver figuras 10 y 11).

Figura 10. Espectro de respuesta (deformación, velocidad)



Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. Texto Guía de Ingeniería Antisísmica. p. 86.

Figura 11. Espectro de respuesta (aceleración)



Fuente: SATANA, Guillermo. Evaluación de código sísmico. p. 7.

1.2.4. Ordenada espectral

Es un valor que dependerá de las condiciones de la superficie. En el caso proyectos próximos a fallas geológicas se deberá de modificar los valores para una mejor eficiencia.

Los valores de ordenada espectral de periodo corto (S_{cr}) y la ordenada espectral de período 1 segundo (S_{1s}) se encuentran en el Listado de Amenaza Sísmica por municipios elaborado por AGIES, (ver anexos).

1.2.5. Período de vibración del sismo

Es el tiempo que tarda un sismo. Por lo general los sismos de gran magnitud son de corta duración, de unos pocos segundos. Cuando se genera un sismo hay uno o más picos principales que son los que determinan la mayor magnitud de movimiento, más que de la magnitud del sismo los daños que se registran muchas veces se ocasionan por el tiempo de duración del mismo.

1.2.6. Velocidad de onda

La velocidad de la onda depende del material por el cual se está propagando y de sus propiedades. Las ondas longitudinales son más rápidas que las ondas transversales.

1.3. Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas son generadas por movimientos telúricos naturales, dichas ondas están compuestas por energía que se dispersa a partir del hipocentro y viajan a través de la tierra. Hay varios tipos de ondas sísmicas y

cada una se mueve de forma diferente; las ondas pueden ser internas o superficiales.

1.3.1. Ondas internas (profundas)

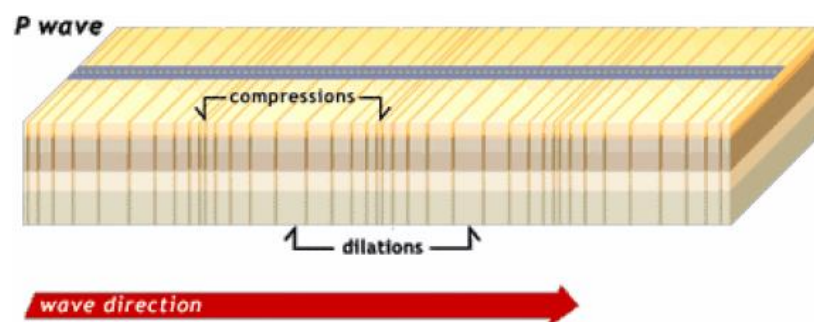
Las ondas internas son las que se propagan en el interior de la tierra y son de gran importancia ya que en base a ellas se adquieren datos para el diseño de estructuras.

1.3.1.1. Ondas primarias (P)

Se producen desde el hipocentro se desplazan longitudinalmente en dirección de la propagación, son las más rápidas por tanto son las primeras que se registran en los sismógrafos. Las ondas P pueden moverse a través de los sólidos, líquidos o gases.

Estas ondas viajan con gran velocidad y son las que producen truenos sísmicos que se escuchan antes de que se produzca el terremoto.

Figura 12. Ondas primarias

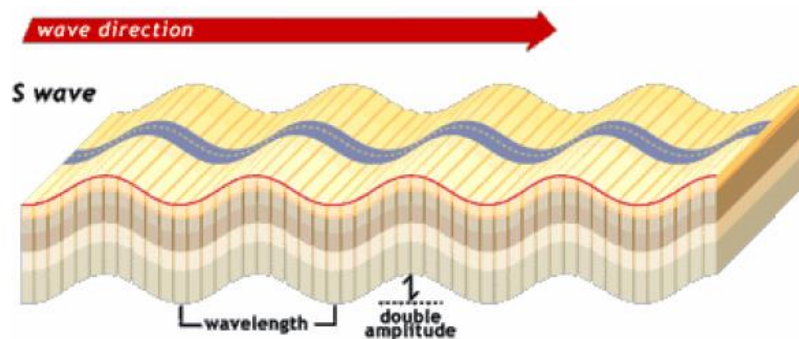


Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. Texto Guía de Ingeniería Antisísmica. p. 8.

1.3.1.2. Ondas secundarias (S)

Las ondas S son más lentas que las ondas P por ello son las segundas en llegar de allí su nombre. Su velocidad es aproximadamente 58 por ciento de una onda P. Son aquellas en la cual las partículas se desplazan transversalmente a la dirección de propagación, estas ondas son las que generan las oscilaciones durante el movimiento sísmico. Las ondas S se propagan únicamente a través de medios sólidos debido a que los líquidos no presentan rigidez al corte.

Figura 13. Ondas secundarias



Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. Texto Guía de Ingeniería Antisísmica. p. 8.

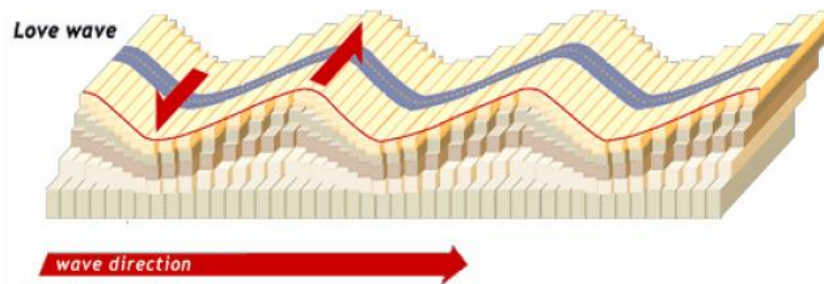
1.3.2. Ondas superficiales

Son las que viajan sobre la superficie de la tierra y se desplazan a menor velocidad que las ondas internas; se generan cuando las ondas secundarias llegan a la superficie y son las últimas registradas por el sismógrafo. Estas ondas son las que provocan resonancia en los edificios por ende son las más destructivas.

1.3.2.1. Ondas Love (L)

Son ondas que producen un movimiento horizontal de corte en la superficie, estas se generan solamente en un medio estratificado como lo es el planeta pues se encuentra formado por capas de diferentes características físicas y químicas. La velocidad de las ondas *Love* es un 90 por ciento la velocidad de las ondas *S* y ligeramente superior a la velocidad de las ondas *Rayleigh*.

Figura 14. Ondas *Love*



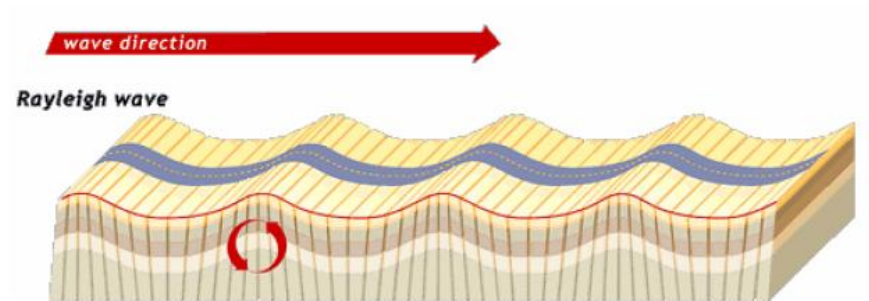
Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. Texto Guía de Ingeniería Antisísmica. p. 9.

1.3.2.2. Ondas *Rayleigh* (R)

Son ondas que producen un movimiento elíptico con sentido contrario a las agujas del reloj. Estas ondas tienen su máxima amplitud en la superficie libre, la cual decrece exponencialmente con la profundidad.

Son las ondas más lentas con velocidades de 1 a 4 kilómetros por segundo. La velocidad de propagación es aproximadamente un 70 por ciento de la velocidad de las ondas *S*.

Figura 15. **Ondas Rayleigh**



Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. Texto Guía de Ingeniería Antisísmica. p. 9.

1.4. **Tamaño de los sismos**

Se refiere a la medida de la cantidad de energía liberada (magnitud) o al grado de destrucción que ellos causan en una región (intensidad). La magnitud y la intensidad son medidas diferentes aunque suelen ser confundidas constantemente, esta confusión se debe a la similitud en las escalas usadas para expresar estos parámetros.

Para medir el tamaño de los sismos se utilizan las escalas de Richter o la escala de Mercalli Modificada; llamándose así en honor a los científicos que las descubrieron.

Para obtener los grados de intensidad en la escala de Richter es necesario el uso de sismógrafos o acelerógrafos que registren los movimientos sísmicos; mientras que, la escala de Mercalli Modificada se basa en observar los daños ocasionados en las estructuras y el impacto en las personas sin necesidad de aparatos.

1.4.1. Intensidad sísmica

La medición de la intensidad sísmica se realiza observando los efectos o daños producidos por el temblor en las construcciones y el impacto que provoca en las personas. El valor de la intensidad sísmica depende de varios factores:

- Distancia del sitio al epicentro, mientras más lejos menor intensidad.
- Del tipo de suelo, en suelos blandos las ondas se amplifican provocando más daño.
- De la topografía del lugar, ya que si hay una construcción a la orilla de una ladera tendrá mayor probabilidad de daño.
- Depende de la resistencia de las estructuras, una edificación que es sismo resistente presentara menos daños.
- Depende también de las personas, del saber tomar decisiones para evitar accidentes.

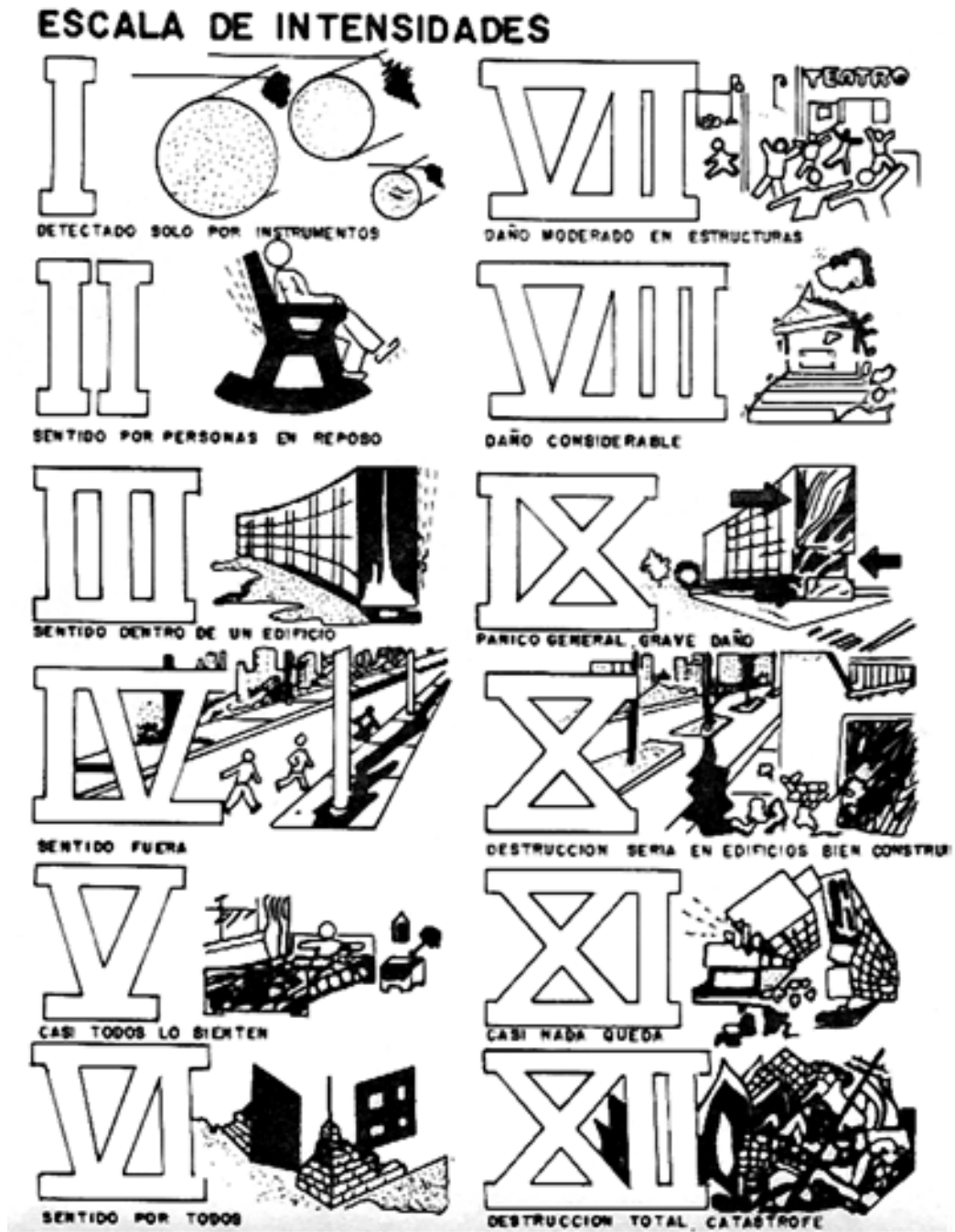
1.4.1.1. Escala de Mercalli Modificada

Es una escala descriptiva de 12 grados y se representan con números romanos del I al XII, de acuerdo a los efectos observados. Los niveles bajos de la escala están asociados a la forma que las personas sienten el temblor, mientras los grados altos se relacionan con los daños estructurales en las construcciones. Los daños estructurales empiezan a partir del grado VI de esta escala, (ver tabla I).

- Grado I: movimiento leve detectado solo por instrumentos.
- Grado II: detectado por personas que se encuentran en reposo, particularmente las que se encuentran en pisos superiores.
- Grado III: se percibe en el interior de edificios y casas.

- Grado IV: los objetos colgantes oscilan visiblemente. Sentido por todos en el interior de los edificios y casas.
- Grado V: sentido por todos, tanto en el interior como en el exterior de edificios y casas. Durante la noche muchas personas se despiertan y se vuelcan objetos inestables.
- Grado VI: sentido por todas las personas y se siente inestabilidad al caminar. Se dañan vidrios, se desplazan los muebles y se quiebran objetos frágiles y se producen grietas en algunas estructuras.
- Grado VII: se experimenta dificultad para mantenerse en pie, se percibe en automóviles en marcha, ocasiona daños a los vehículos y a estructuras mal construidas. Se caen trozos de ladrillos, cornisas y diversos elementos arquitectónicos.
- Grado VIII: se hace difícil e inseguro el manejo de vehículos. Se producen daños considerables y derrumbe parcial en estructuras bien construidas.
- Grado IX: se produce pánico general, las estructuras se dañan y a veces se derrumban totalmente.
- Grado X: se destruye gran parte de las estructuras de todo tipo (madera, concreto) se ven dañado hasta los cimientos de las mismas.
- Grado XI: muy pocas estructuras quedan en pie.
- Grado XII: daño casi total, se vuelve una gran catástrofe.

Tabla I. Escala de Mercalli Modificada



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

1.4.2. Magnitud sísmica

Es la medición de la energía real liberada en el hipocentro del sismo. La magnitud de un sismo puede ser medida conociendo el tiempo transcurrido entre la aparición de las ondas P (cortas) y las ondas S (largas) y la amplitud de estas. Dicha medición se realiza por medio de sismógrafos ubicados de manera estratégica para percibir los movimientos de la tierra.

1.4.2.1. Escala de Richter

Es una escala logarítmica que hace que sus valores aumenten en forma exponencial por lo que no es correcto decir que un terremoto de 5 grados es la mitad de un terremoto de 10 grados. Esta escala no tiene un límite superior ni inferior; sin embargo, las características de nuestro planeta impide que existan sismos naturales superiores a 10 grados o inferiores a -2 grados. Se considera sismos destructivos aquellos que tienen una magnitud mayor de 6,5 pero esto depende de la calidad de las construcciones y suelo, (ver tabla II).

Tabla II. Escala de Richter

| MAGNITUD RICHTER | CONSIDERADO |
|------------------|-----------------|
| 2 – 2,9 | Micro-terremoto |
| 3 – 3,9 | Menor |
| 4 – 4,9 | Leve |
| 5 – 5,9 | Moderado |
| 6 – 6,9 | Fuerte |
| 7 – 7,9 | Mayor |
| 8 y superior | |

Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Tabla III. **Magnitud comparada con masa TNT**

| Magnitud de Richter | Masa de TNT equivalente | Energía equivalente cotidiana |
|---------------------|-------------------------|--|
| -1,5 | 1 gramo | Golpe de un mazo |
| 1 | 170 gramos | Explosión de una granada |
| 2 | 29 kg | Explosión de un tanque de gas |
| 3 | 181 kg | Explosión de bomba mediana |
| 4 | 6 toneladas | Pequeña bomba atómica |
| 5 | 199 toneladas | Terremoto de San Salvador 2001 (5,5 Richter) |
| 6 | 1 270 toneladas | Terremoto de Managua 1972 (6,5 Richter) |
| 7 | 200 000 toneladas | Terremoto de Guatemala 1976 (7,5 Richter) |
| 8 | 6 millones de t | Terremoto de México 1985 (8,1 Richter) |
| 9 | 200 millones de t | Terremoto del Océano Índico 2004 (9,1 Richter) |
| 10 | 260 millones de t | Terremoto de Valdivia Chile 1960 (9,6 Richter) |

Fuente: PILAR, Andrés; RODRIGUEZ, R. Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica. p. 48.

La escala negativa de Richter se debe a que, Charles F. Richter el científico que dio origen a esta escala utilizó como referencia un sismo de magnitud 0, lo cual da como resultado una variación en la amplitud y en el tiempo muy pequeñas. Por lo tanto, al introducir estos valores en la fórmula da como resultado valores negativos.

$$M = \log A + 3 \log (8 \Delta t) - 2,92$$

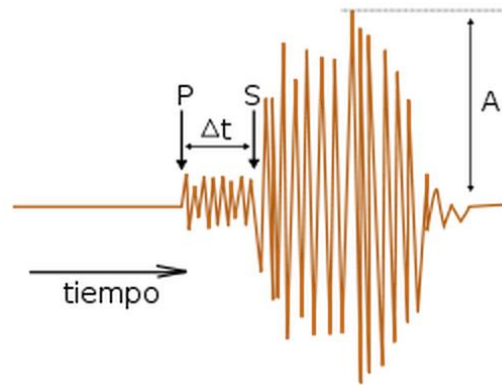
Donde:

M: es la magnitud arbitraria, pero constante con respecto a sismos similares

A: es la amplitud máxima de las ondas en milímetros, tomada desde el sismógrafo

Δt : es el tiempo en segundos desde el inicio de las ondas primarias (P) a las secundarias (S)

Figura 16. **Gráfica de sismograma**



Fuente: *Sismological Section, University of Uppsala. Anatomy of Seismograms. p. 35.*

1.5. Instrumentos de medición sísmica

Son los instrumentos utilizados para medir y registrar las actividades sísmicas que se generan en un lugar determinado, estos nos permiten registrar las características de las ondas sísmicas de tal forma que puedan ser estudiadas y analizadas posteriormente por especialistas, ya que con estos datos se obtiene una estimación de la amenaza sísmica de un lugar para establecer parámetros de diseño en la construcción de edificaciones.

1.5.1. Sismógrafo

Es el instrumento más utilizado en la sismología para medir temblores pequeños o de gran magnitud, este aparato registra el movimiento de la tierra en función del tiempo.

El principio de los sismógrafos se basa en poseer una masa suspendida de tal forma que permanezca estacionaria durante el movimiento sísmico, mientras su apoyo se mueve.

Los sismógrafos más modernos son los llamados de banda ancha por la capacidad de registro en un rango ancho de frecuencias.

En la actualidad se utilizan sismógrafos electrónicos en los cuales se produce un movimiento relativo entre la pesa y la base generando un voltaje eléctrico que es registrado por una computadora, (ver figura 17).

Figura 17. **Sismógrafo**

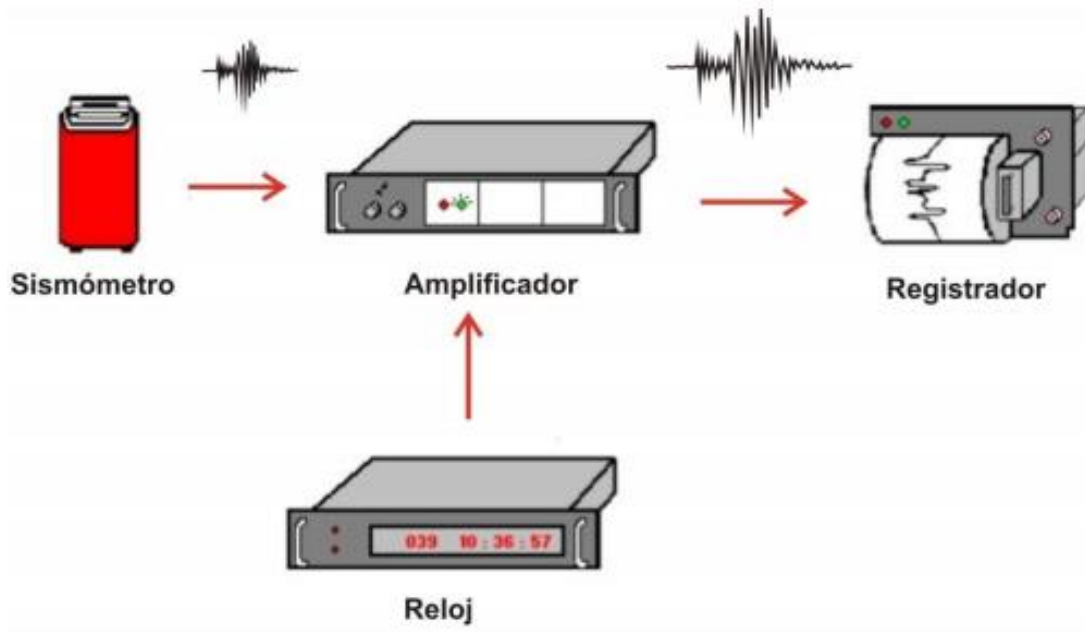


Fuente: sala de control de sismos nacionales. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología

Un sismógrafo cuenta de cuatro partes: (ver figura 18)

- Sismómetro: responde al movimiento del suelo en dirección vertical y horizontal, lo convierte en una señal eléctrica.
- Amplificador: permite aumentar la precisión del registro del movimiento.
- Registrador: amplifica la señal para graficar la variación del movimiento a lo largo del tiempo.
- Reloj: es el que indica el tiempo preciso en que se registra una señal sísmica.

Figura 18. **Esquema de los componentes de un sismógrafo**



Fuente: <http://www.impres.gov.ar/docentes/Introducción%20la%20Sismometría.pdf>.

Consulta: 1 de abril de 2013

Existen dos tipos de sismógrafos según la ubicación de su péndulo:

- Horizontales: consta con una estructura fija al suelo con un tambor giratorio; en la parte superior se cuelga mediante un alambre una masa pesada con un lápiz en la parte inferior, que estará en contacto con el tambor giratorio unido a la estructura. Cuando hay actividad sísmica la estructura sujeta al suelo y el tambor vibran de lado a lado, mientras que la masa suspendida no lo hace debido a su inercia, entonces el lápiz gráfica una línea ondulada sobre el tambor.
- Verticales: en el sismógrafo vertical tiene su base fija al suelo y un tambor giratorio que se mueve de manera vertical con el movimiento sísmico, a un lado tiene una masa de gran peso suspendido por medio de un resorte con un lápiz a un costado de la masa, el cual permanece estacionario en un movimiento sísmico mientras va trazando una línea sobre el tambor.

En ambos tipos de sismógrafos, el lápiz puede ser sustituido por un espejo que refleje un rayo de luz sobre papel fotográfico, donde se graba la línea ondulada.

Los sismógrafos registran en papel, líneas que representan el movimiento sísmico llamadas sismograma. Cuando no hay vibraciones, la línea es recta, pero los grandes movimientos producen amplios trazos hacia arriba y hacia abajo.

- Sismograma

El sismograma es una representación gráfica del movimiento de las ondas en la superficie, los sismogramas registran los movimientos de ondas P, S, *Love* y *Rayleigh*; a continuación se realizara un ejemplo para un mayor entendimiento.

Ejemplo:

Análisis de un sismograma

Para este ejemplo se describirá la gráfica del sismo del 7 de noviembre de 2012. En la gráfica se observará que el eje de las X representa el tiempo en segundos y el eje de las Y la lectura de 10 sismógrafos ubicados en diferentes puntos del país.

Se inicia recibiendo las ondas registradas por el sismógrafo por medio de ondas de radio; que llegan a los discriminadores los cuales son los encargados de filtrar la información y desechar los sonidos que puedan perjudicar al análisis de las ondas, luego pasan al digitalizador donde estas ondas se convierten en señales digitales, luego son analizadas por el programa *seislog* que sincroniza las señales y las envía para ser analizadas por un software llamado *SEISAN* que funciona sobre el sistema operativo *Solaris*.

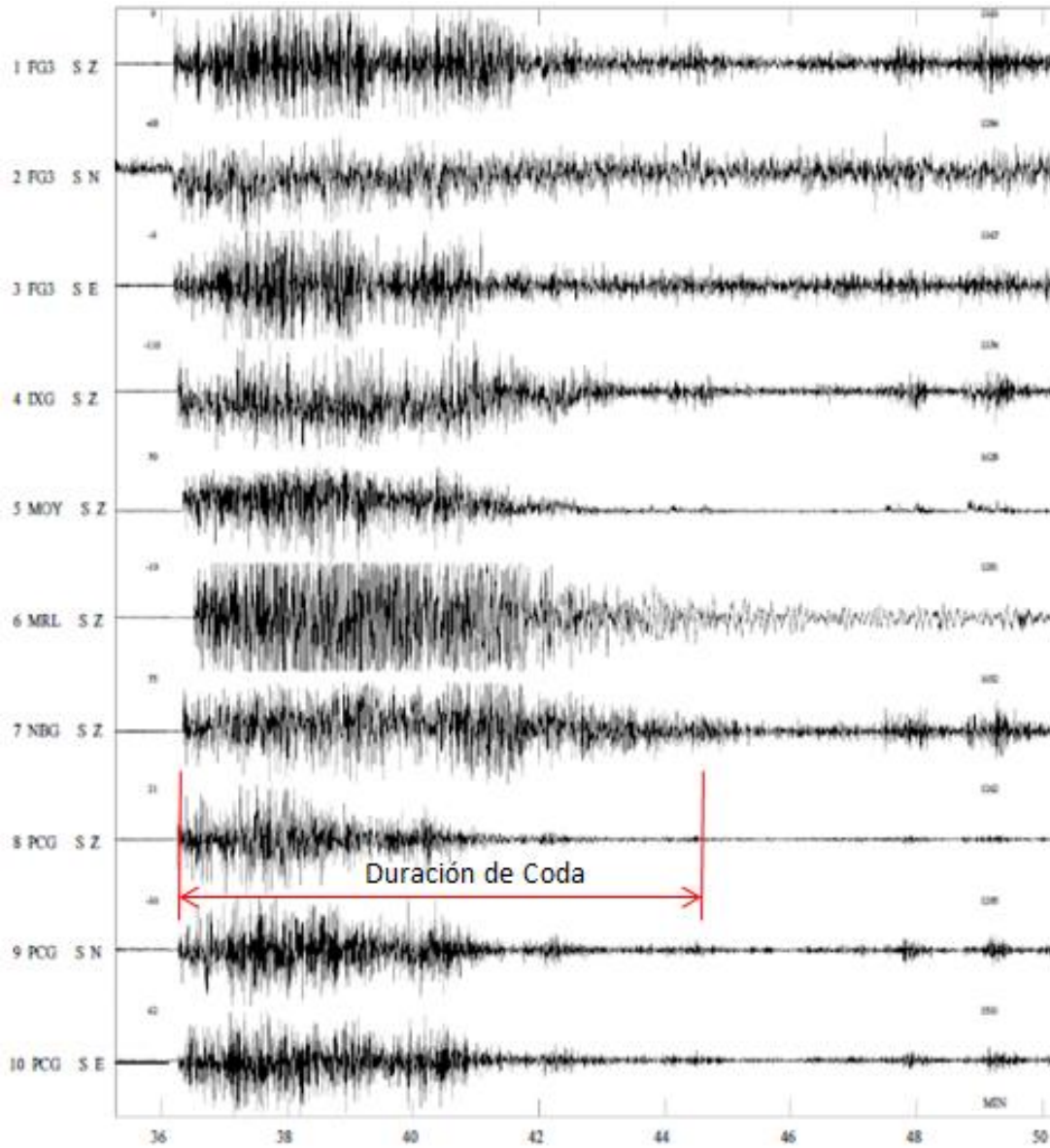
Regularmente en los medios siempre se menciona el tiempo de duración de un sismo, sin embargo, en sismología no se da un dato del tiempo de duración; ya que la duración en cada lugar será diferente por el tipo de suelo en el que se propaga las ondas. En suelos blandos se registrara más duración mientras que en suelos rígidos habrá menos duración.

Para fines de análisis se observa la duración que tiene el sismo en las diferentes estaciones, esto se realiza de la siguiente manera: se observa la gráfica desde el momento que estaba con una oscilación constante (línea recta) hasta donde finalice la variación de frecuencia (trazos de arriba hacia abajo) y vuelva a ser constante (línea recta), a este dato se le denomina duración de coda.

Para determinar la magnitud y localización del epicentro se toman como mínimo 3 estaciones que registren mayor variación de frecuencia, dado que las ondas sísmicas hacen que el suelo vibre tanto horizontal como verticalmente. Una estación sísmica requiere de tres sismógrafos para grabar los movimientos, uno para registrar los movimientos verticales y dos para registrar los movimientos horizontales en dos direcciones, norte-sur y este-oeste. Luego estos datos son analizados por medio del software el cual procede a realizar los cálculos; dando el resultado de latitud, longitud y profundidad donde se generó el sismo.

Para este ejemplo los datos obtenidos en este programa describieron que el sismo había tenido origen en las costas del pacífico, con coordenadas; latitud 14 05800 grados al norte, longitud de 92 31200 grados al oeste con una profundidad de 33,2 kilómetros (hipocentro).

Figura 19. Sismograma San Marcos 7 de noviembre de 2012



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Se requiere de una serie de sismógrafos ubicados de manera estratégica para poder registrar todas las actividades sísmicas que se presenten en nuestro país, a este arreglo se le llama red sísmológica.

En Guatemala el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) es la institución encargada de llevar un registro de todas las actividades sísmicas que se presenten en el país; hasta la fecha la red sismológica nacional cuenta con 11 estaciones de control las cuales están ubicadas en diferentes departamentos. Las estaciones están ubicadas en puntos estratégicos o en zonas que presentan más vulnerabilidad a actividades sísmicas.

La estaciones de control sísmico instaladas por el INSIVUMEH en el país se encuentran ubicadas en los siguientes departamentos: (ver figura 17).

GCG: Guatemala (instalaciones del INSIVUMEH)

NBG: Las Nubes, Palencia

STG3: Santiaguito, Quetzaltenango

JAT: Retalhuleu

PCG: Pacaya, Escuintla

FG3: Fuego, Escuintla

FG6: Fuego, Chimaltenango

TP2: Tecpán, Chimaltenango

IXG: Ixpac, Santa Rosa

MRL: Marmol, Zacapa

MOY: Moyuta, Jutiapa

APG: El Apasote, Baja Verapaz

Figura 20. Mapa de red sismológica de Guatemala

RED SISMOLOGICA NACIONAL 2012 - INSIVUMEH



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

1.5.2. Acelerógrafo

Instrumento con el mismo principio que un sismógrafo pero diseñado para registrar la aceleración del suelo más que a su velocidad de desplazamiento, del cual se obtiene un gráfico que se le llama acelerograma donde se muestra la aceleración de las vibraciones en función del tiempo.

En la actualidad se usan equipos digitales que son prácticamente computadoras diseñadas para registrar fuertes sismos, la información es almacenada en un disco duro la cual puede ser extraída de forma rápida y también puede ser enviada por internet para que su análisis sea inmediato.

Los acelerógrafos permiten ver varios parámetros, entre los cuales destacan:

- Estimar el valor máximo de aceleración en un sismo. Este valor se usa para diseños estructuras sismo-resistentes.
- Calcular la duración del movimiento.
- Calcular la respuesta del suelo para planificar la construcción de estructuras más seguras en el futuro.
- Calcular espectros de diseño y de respuesta.
- Realizar estudios de amenaza sísmica por medio de ecuaciones que predicen los valores máximos de un terreno en función de la distancia.

Figura 21. **Acelerógrafo *Kinematics K-2***



Fuente: <http://sismicidad.wikispaces.com/Tipos+de+sismografos>. Consulta: 1 de abril de 2013.

1.6. Aspectos sísmicos de Guatemala

A pesar de su pequeña extensión territorial, Guatemala es un país con mucha actividad sísmica ya que está situada dentro de un área geográfica conocida como Cinturón de Fuego del Pacífico siendo en esta región donde ocurre la mayoría de los sismos del mundo; debido a que está formada de una cadena de volcanes.

Sin embargo, conociendo la vulnerabilidad del país la mayoría de construcciones que se realizan no cuentan con la supervisión necesaria para garantizar la reducción de daños en las estructuras ya sea por un evento sísmico o de diseño estructural.

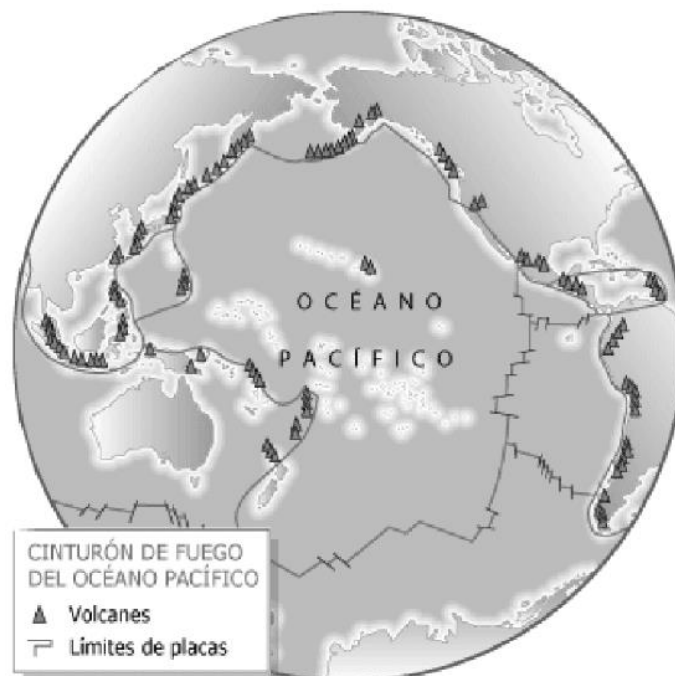
AGIES es una institución la cual ha tratado de crear normas nacionales en base a las necesidades de nuestro país; sin embargo, muchas personas que se dedican al trabajo de construcción no están familiarizadas con estas normas,

por tanto desconocen los parámetros que se deben de utilizar a medida de reducir daños en las estructuras.

Así también, las medidas de prevención que se toman en nuestro país son muy pocas; es por ello que la población no cuenta con la preparación necesaria de cómo reaccionar ante un evento sísmico de gran magnitud.

Para reducir accidentes al momento de generarse una actividad sísmica es necesario que las personas conozcan algunas medidas de prevención que deben hacerse antes, durante y después de un movimiento sísmico, (ver anexo B).

Figura 22. **Cinturón de Fuego**



Fuente: *Sismological Section, University of Uppsala. Anatomy of Seismograms.* p 10.

1.6.1. Placas y fallas de la República de Guatemala

Guatemala se caracteriza por ser un país con muchos accidentes geográficos, ser decir, placas tectónicas y fallas geológicas ubicadas en diferentes regiones del país.

1.6.1.1. Placas tectónicas

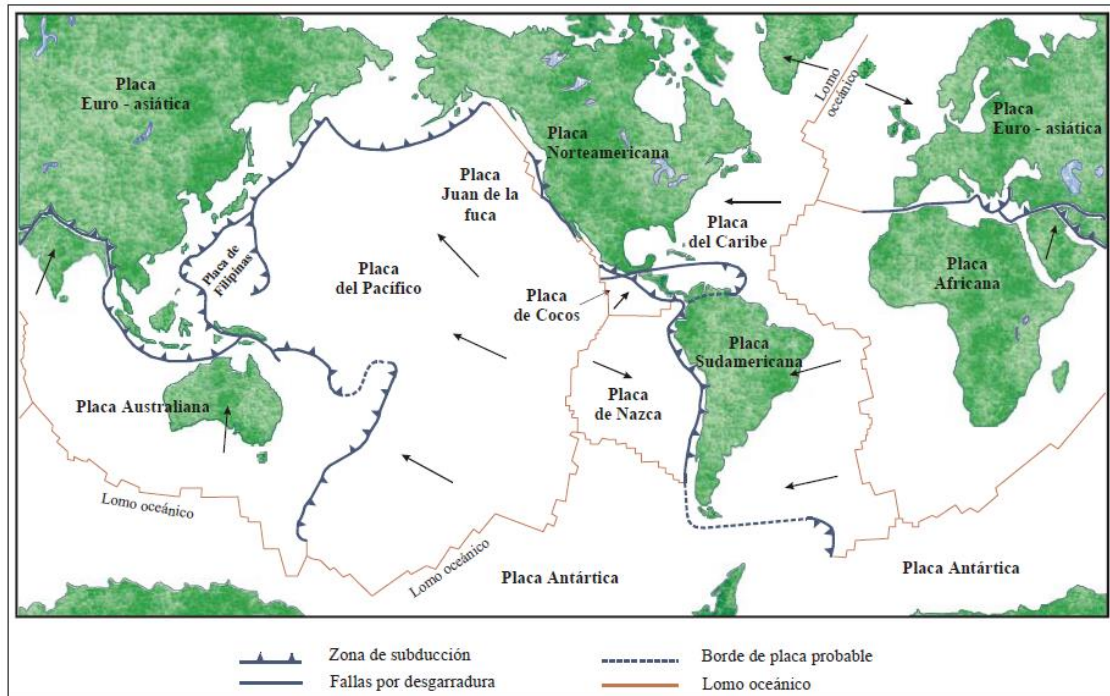
Son extensos fragmentos de roca sólida y de otros metales; sobre las que está conformado el planeta tierra, estas placas tienen un grosor aproximado de 100 kilómetros y los bordes de las placas constituyen la unión de una placa y otra.

La mayoría de los sismos son generados por movimientos entre placas, ya que las estas se mueven alrededor de 2,5 centímetros por año; debido a este movimiento las placas se acercan o se separan unas de otras en sus límites provocando deformaciones en la tierra, destrucción a edificaciones e inclusive pérdidas humanas.

El planeta esta formado por 7 placas principales las cuales son: placa Sudamericana, placa Norteamericana, placa Euroasiática, placa Indoaustraliana, placa Africana, placa Antártica y placa Pacífica, (ver figura 23).

Las placas secundarias son: placa de Cocos, placa del Caribe, placa de Nazca, placa Juan de Fuca, placa Filipina, placa Arábica y placa Scotia.

Figura 23. **Placas tectónicas mundiales**



Fuente: GOYTIA, Ivan; VILLANUEVA, Rolando. Texto Guía de Ingeniería Antisísmica p 3.

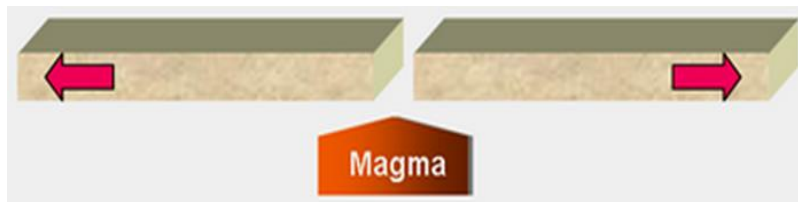
Existen dos tipos de placas, los cuales son:

- Placas oceánicas: son las que se encuentran sumergidas en su totalidad por agua, como la placa del Pacífico, la placa de Nazca, la placa de Cocos y la placa filipina.
- Placas mixtas: son las que cierta parte de ellas se encuentra cubierta por agua y otra parte se encuentra cubierta por corteza terrestre; la mayoría de las placas tienen estas características excepto las antes mencionadas.

Debido a los movimientos que existen entre placas, se conocen tres tipos de límites que se clasifican en:

- Límites divergentes: cuando el movimiento de las placas es de separación provocando un hueco entre ellas. Conforme las placas se alejan entre sí, nuevo material asciende creando nueva corteza oceánica. A este tipo de límite también se les conoce como zonas de dorsal o límites constructivos.

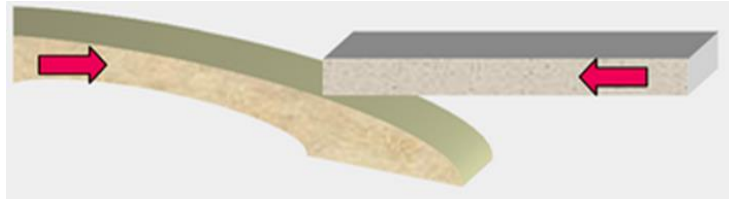
Figura 24. **Límites divergentes**



Fuente: http://2.bp.blogspot.com/-_tXPT0wj99Q/TmKZgXHu01I/AAAAAAAAAMfU/Pvbg2SchjnM/s1600/limites.placas.tectonicas.1.png. Consulta: 4 de septiembre de 2013.

- Límites convergentes: cuando el movimiento que realizan las placas es de aproximación, obliga a una de las placas (la más densa) a introducirse bajo la otra, a este proceso se le denomina subducción. A estas zonas también se les llama zonas de subducción o límites destructivos. La fricción entre estas dos placas da lugar a zonas de mucha actividad sísmica, tal es el caso de Guatemala con las placas de Cocos y placa del Caribe.

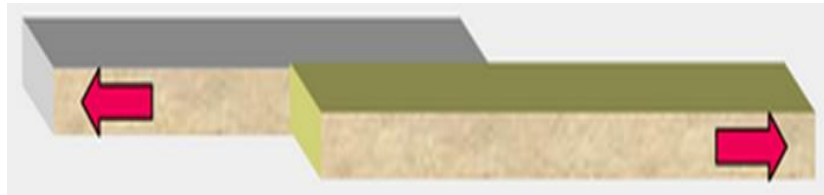
Figura 25. **Límites convergentes**



Fuente: http://2.bp.blogspot.com/-_tXPT0wj99Q/TmKZgXHu01I/AAAAAAAAAMfU/Pvbg2ScHjnM/s1600/limites.placas.tectonicas.1.png. Consulta: 4 de septiembre de 2013.

- Límites transcurrentes: es donde el movimiento entre las placas es de forma paralela y en sentido contrario una de la otra, conocidas también como zonas de falla transformante.

Figura 26. **Límites transcurrentes**



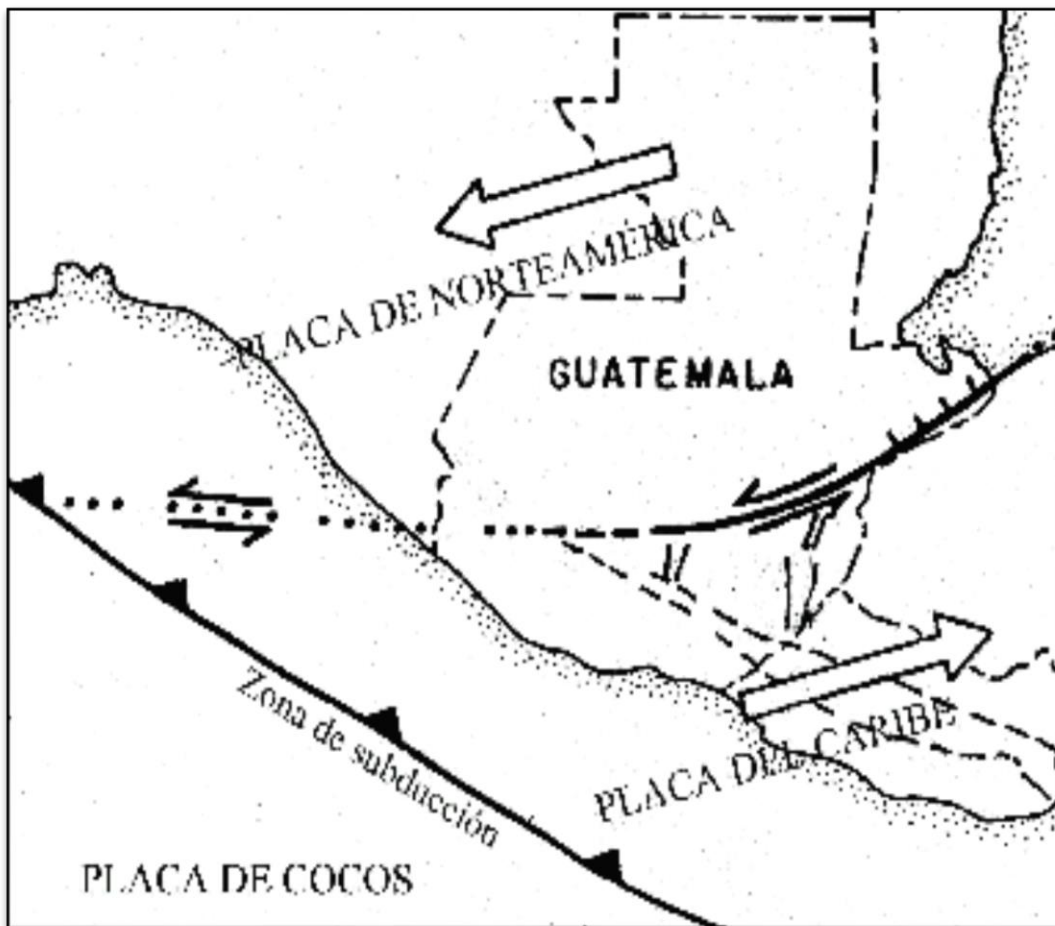
Fuente: http://2.bp.blogspot.com/-_tXPT0wj99Q/TmKZgXHu01I/AAAAAAAAAMfU/Pvbg2ScHjnM/s1600/limites.placas.tectonicas.1.png. Consulta: 4 de septiembre de 2013.

Las placas tectónicas que atraviesan Guatemala son: placa de Norteamérica, placa del Caribe y placa de Cocos.

- Placa Norteamericana: es una placa que cubre América del Norte, Centroamérica, Groenlandia y una parte del océano Atlántico, es de un tamaño aproximada de 70 kilómetros cuadrados.

- Placa del Caribe: es una placa que atraviesa Centroamérica y constituye el fondo del mar Caribe al norte de la costa de América del Sur.
- Placa de los Cocos: es una placa tectónica por debajo del océano Pacífico en la costa este de América Central.

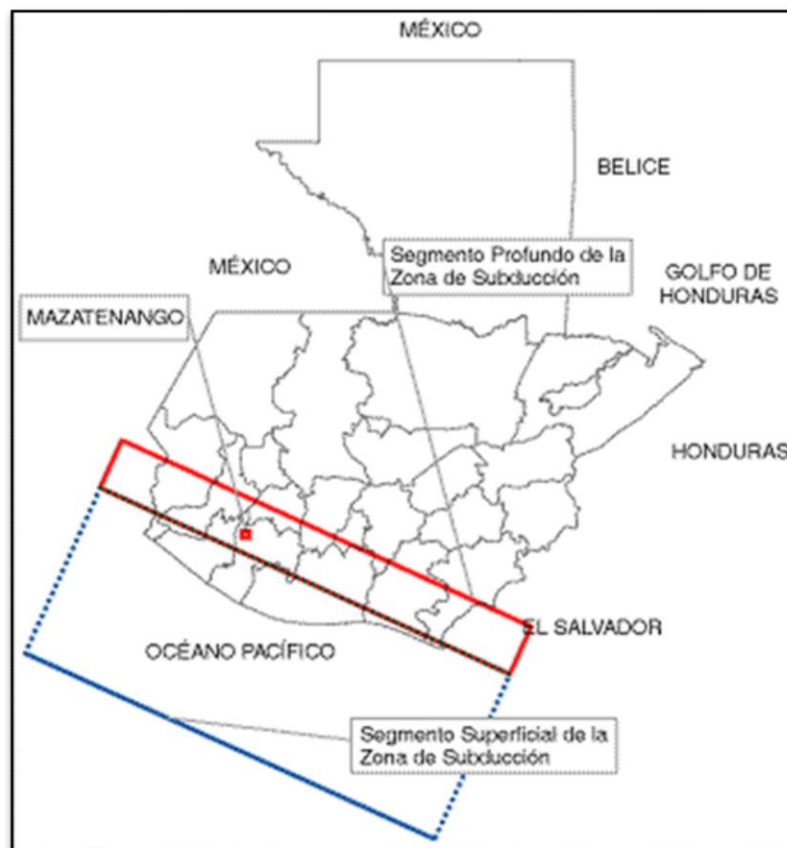
Figura 27. **Placas tectónicas de Guatemala**



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

Así también, Guatemala se ve afectada en el área de la costa del pacífico por la zona de subducción, la cual es donde la placa de Cocos se mete por debajo de la placa del Caribe. La placa que se subduce se introduce en zonas de mayor temperatura. Esta zona está ubicada a 50 kilómetros de distancia mar adentro en el océano pacífico.

Figura 28. **Zona de subducción de Guatemala**



Fuente: mapa de amenazas sísmicas. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e hidrología.

La zona de subducción provoca la aparición del Arco Volcánico Centroamericano; la cual es una red de volcanes que atraviesan toda Centroamérica provocando constantes movimientos sísmicos de pequeña y gran magnitud en la República de Guatemala y a lo largo de toda Centroamérica.

Todos los volcanes que se encuentran en Guatemala pertenecen a este arco volcánico, entre los activos en la actualidad se encuentran los volcanes: Agua, Fuego y Acatenango ubicados en las cercanías de Antigua Guatemala, los volcanes Santa María y Santiaguito se encuentran en Quetzaltenango y el volcán más impredecible es el volcán de Pacaya ubicado en el municipio San Vicente Pacaya del departamento de Escuintla. Asimismo, en Guatemala se encuentran los volcanes más altos de este arco, siendo ellos los volcanes Tajumulco y Tacaná ambos por encima de los 4000 metros de altura ubicados en el departamento de San Marcos.

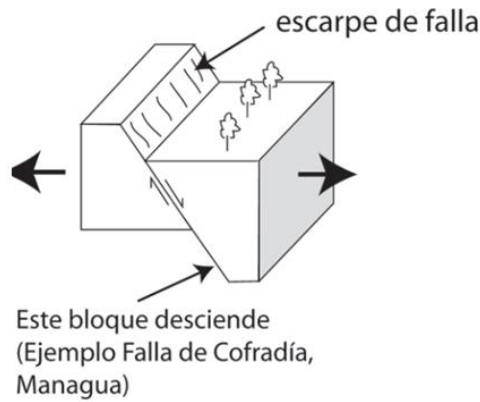
1.6.1.2. Fallas geológicas

Una falla es una fractura de la placa que se forma por un deslizamiento a lo largo de la superficie; en el cual el terreno experimenta un desplazamiento vertical u horizontal que se puede extender por varios cientos de kilómetros.

Las fallas se clasifican de acuerdo a su movimiento:

- Fallas normales: se producen en áreas donde las rocas se están separando, de manera que la corteza terrestre es capaz de ocupar más espacio. Las rocas de un lado se hundien con respecto a las rocas del otro lado de la falla. Las fallas normales no crean salientes por tanto se puede caminar sobre ellas.

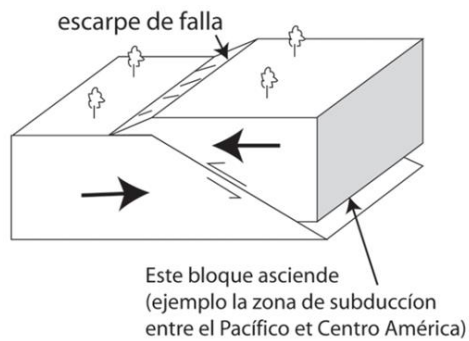
Figura 29. **Falla normal**



Fuente: PILAR, Andrés; RODRIGUEZ, R. Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica. p. 47.

- Fallas inversas: ocurre en áreas donde las rocas se comprimen unas con otras, de manera que las rocas de un lado ocupen menos espacio que las del otro lado. Las fallas inversas crean salientes con ángulos pequeños, no se puede caminar sobre ellas.

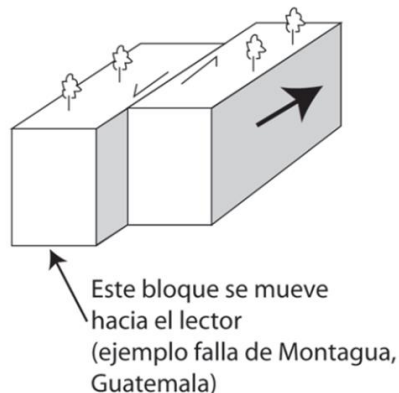
Figura 30. **Falla inversa**



Fuente: PILAR, Andrés; RODRIGUEZ, R. Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica. p. 47.

- Fallas de desgarre: el movimiento a lo largo de la grieta es de manera horizontal, el bloque de roca de un lado se mueve en dirección opuesta a la del otro lado.

Figura 31. **Falla de desgarre**



Fuente: PILAR, Andrés; RODRIGUEZ, R. Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica. p. 47.

La República de Guatemala es atravesada por dos fallas geológicas principales: la falla del Motagua y la falla Chixoy-Polochic; se le llaman principales porque atraviesan gran parte del territorio nacional. Asimismo, existen muchas otras fallas en nuestro país las cuales se mencionaran algunas de ellas; ya que las demás fallas no se les tiene asignado un nombre específico, debido a la gran cantidad de fallas que accidentan el país no se les puede asignar un nombre a cada una de ellas. Sin embargo, están muy cerca de pueblos y ciudades y pueden causar importantes daños. (ver figura 8 y 9).

- Falla de Motagua: está ubicada en la unión de dos grandes placas tectónicas: la placa de Norteamérica y la placa del Caribe. Esta falla pasa por toda la república partiéndola por la mitad horizontalmente. Es la falla

que forma el borde geológico entre Norteamérica y Centroamérica. Se encuentra en actividad constante.

- Falla Chixoy-Polochic: es una falla paralela a la falla del Motagua que se extiende desde la costa este de Guatemala hasta Chiapas. Falla que se encuentra activa.
- Falla de Mixco: es una falla que accidenta el valle de Guatemala ubicada en Mixco, al oeste de la cabecera central; la cual se encuentra inactiva.
- Falla Santa Catarina Pinula: falla que afecta el valle de la ciudad de Guatemala ubicada en el municipio de Santa Catarina Pinula a pocos kilómetros de la cabecera central. Falla que se encuentra inactiva.
- Falla del Frutal: falla que se encuentra ubicada en el municipio de Villa Nueva al sur-oeste de la cabera capitalina. Falla que se encuentra inactiva.
- Falla de Jalpatagua: falla que se extiende desde el sur de Amatitlán hasta Moyuta Jutiapa, falla que afecta la parte sur del país. Falla activa.
- Falla Oratorio: falla ubicada en el departamento de Santa Rosa, municipio Oratorio el sur-orientel del país. Falla inactiva.
- Falla Jocotán-Chamelecón: falla que inicia desde el departamento de Chiquimula en el orientel del país y se extiende hasta Chamelecón, Honduras. Falla que se encuentra activa.

Figura 32. Fallas geológicas de Guatemala



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

2. REVISIÓN DEL ANÁLISIS SÍSMICO SEGÚN LA NORMA DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES Y OBRAS DE INFRAESTRUCTURA PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES EDICIÓN 2010

2.1. Tipos de sistemas estructurales

Un sistema estructural está compuesto por uno o varios elementos estructurales colocados de tal forma que, sus componentes sean capaces de mantenerse sin cambios apreciables durante las aplicaciones de cargas externas.

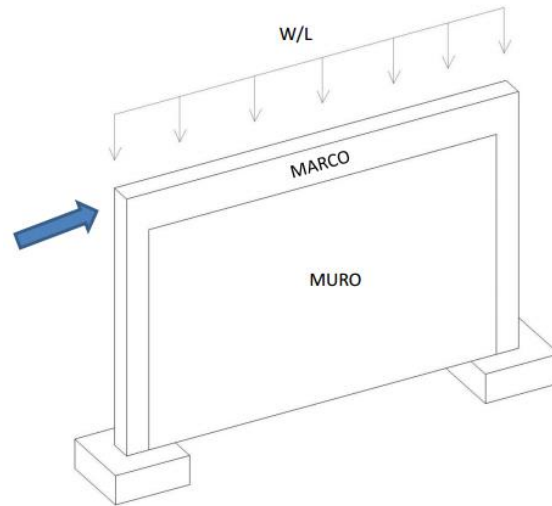
Para determinar el tipo de sistema estructural adecuado en el diseño de una edificación se debe conocer su categoría ocupacional; ya sea una obra utilitaria, obra ordinaria u obra esencial, ya que en base a ella se tomarán diferentes parámetros.

2.1.1. Sistemas de marcos (E1)

El sistema de marcos está integrado por columnas y vigas que soportan todas las cargas verticales y horizontales aplicadas a la estructura. Todos los marcos deben estar unidos entre sí por diafragmas ubicadas en el piso de manera horizontal.

La resistencia con la que serán diseñados los marcos de las estructuras dependerá de acuerdo a las capacidades sísmicas resistentes necesarias para garantizar una mayor estabilidad.

Figura 33. **Estructuración de sistema de marcos**



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Ejemplo sistema tipo marcos**



Fuente: ARQHYS, Arquitectura. Construcciones de Estructuras de concreto.

<http://www.arqhys.com/casas/conceptos-mamposteria.html>.

Consulta: 28 de febrero 2013.

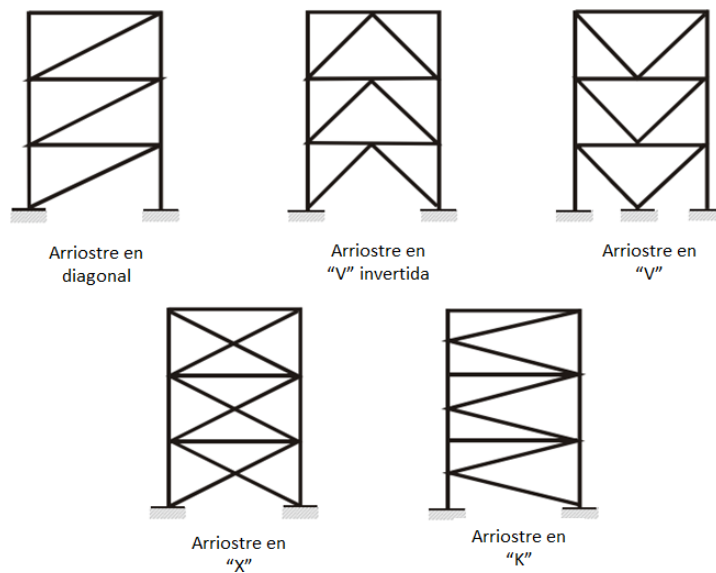
Los marcos pueden ser:

Ordinarios: son marcos estructurales diseñados para resistir combinaciones de cortantes, pero no son diseñados para resistir fuerzas sísmicas. Sin embargo, tienen una capacidad natural de resistencia a estas fuerzas.

- Intermedios: son marcos que cumplen con todos los aspectos estructurales, además deberán soportar a lo menos un 75 por ciento del cortante en la base de la estructura debida a las fuerzas sísmicas.
- Especiales: son los que además de estar formados por vigas y columnas, también cuentan con elementos estructurales que ofrecen mayor estabilidad lateral a la estructura para contrarrestar las fuerzas horizontales a las que estará sometida la misma. Para la estabilidad lateral se puede utilizar varios tipos de refuerzos, algunos de ellos se describen a continuación.
 - Tipos de refuerzos laterales: los diferentes tipos de refuerzos se diseñan con el fin de ayudar a la estructura a absorber las acciones de las fuerzas sísmicas y de viento, además le dan apoyo a las vigas. Mientras más alto va siendo un edificio los sistemas de arrostramiento son más necesarios.
 - Breizas: son elementos estructurales colocados a manera de amarres transversales usados para aumentar la estabilidad y rigidez de la estructura, impidiendo el ladeo y deformación al momento de verse afectadas por fuerzas laterales; dichos elementos se ubican en la parte interna de

los marcos y pueden ser colocados en forma diagonal, X, K o V.

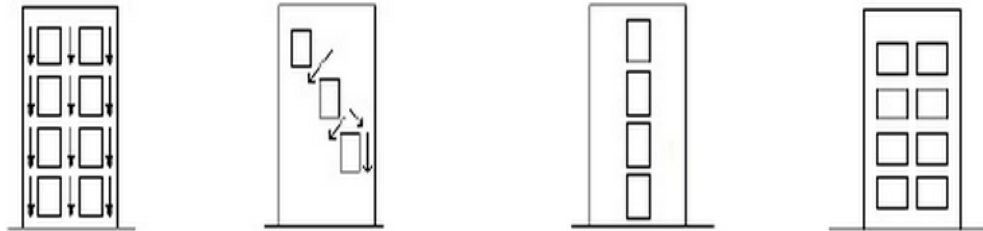
Figura 35. Configuración de breizas



Fuente: Estructuras de acero. Capítulo 9. p 125.

- Muros de corte: son paredes de concreto armado que tienen un mayor ancho en una dirección, en dicha dirección proporcionan una gran resistencia y rigidez lateral ante esfuerzos paralelos a la cara del muro causados por sismos, viento, además del peso de la estructura y sus ocupantes, transfiriéndolas al suelo. Para la incorporación de muros de corte se deberá tener una adecuada estructuración en la ubicación de los muros en planta y elevación para evitar efectos torsionales. Los muros de corte o también llamados placas son muy importantes en edificios de gran altura.

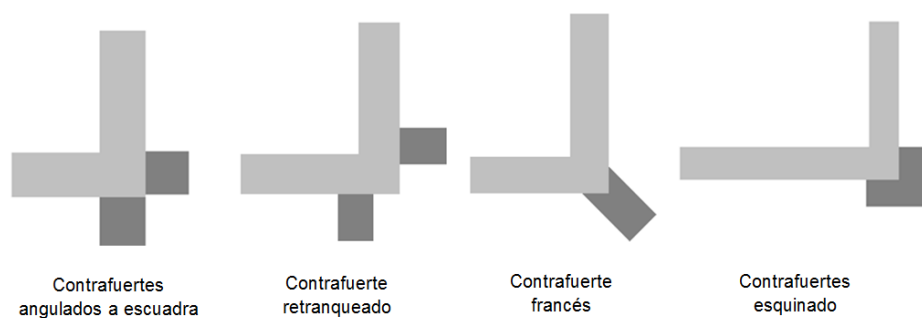
Figura 36. **Ejemplo de ubicación de muros de corte**



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/95924299/Muros-de-Corte>. Consulta: 6 de octubre de 2013.

- **Contrafuertes:** es un engrosamiento en el muro normalmente hacia el exterior, usado para transmitir las cargas transversales a la cimentación y así dar una mayor estabilidad a la edificación. Los contrafuertes eran muy usados en la antigüedad en la arquitectura gótica.

Figura 37. **Algunos tipos de configuraciones de contrafuertes**



Contrafuertes
angulados a escuadra

Contrafuerte
retranqueado

Contrafuerte
francés

Contrafuertes
esquinado

Fuente: elaboración propia, con programa Word 2010.

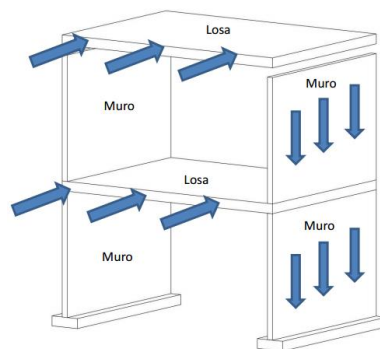
2.1.2. Sistema de cajón (E2)

El sistema estructural tipo cajón es un conjunto de muros en el plano vertical y de losas en el plano horizontal, capaces de resistir cargas sísmicas. Los muros verticales pueden ser de mampostería, paneles livianos de madera, planchas de acero, paneles prefabricados de concreto u otros materiales dependiendo de las necesidades sismorresistentes de la obra.

En este sistema los muros soportan todas las cargas horizontales y parte de la carga vertical que le corresponda por área tributaria (no más del 50 por ciento del peso de la estructura), estos muros deberán transmitir las cargas a través de ellos hacia la cimentación; la carga vertical que no soporten los muros es sostenida por columnas de concreto reforzadas con acero. Mientras se aumenta el espesor del muro se agrega estabilidad lateral.

Este tipo de estructura se caracteriza por poseer gran resistencia a fuerzas laterales, siendo fundamental tener uniones adecuadas entre los elementos.

Figura 38. Estructuración de sistema tipo cajón



Fuente: elaboración propia, con programa sketchup 8.

Se clasifican como estructuras tipo cajón a las construcciones de mampostería y las construcciones fundidas (en serie) que utilizan encofrados metálicos.

- Construcciones de mampostería

Es un sistema constructivo que se compone de elementos individuales colocados uno encima de otro unidos por mortero y columnas reforzadas para darle una mejor estabilidad y amarre a la estructura, estas pueden ser de concreto reforzado con acero y la losa puede tener vigas que sobresalgan o puede ser una losa plana. Este tipo de construcción se emplea en edificios habitacionales de poca altura.

Para la elaboración de este tipo de construcciones se pueden usar diferente tipo de materiales, como:

- Bloques de cemento prefabricado
- Ladrillos
- Piedras naturales talladas en formas regulares e irregulares
- Mampostería mixta reforzada: en este tipo de sistema estructural todos los muros deben estar amarrados entre sí, mediante elementos verticales y horizontales como los son columnas, soleras (hidrófuga, intermedia y de corona) y mochetas. Todos estos refuerzos llevaran acero estructural y estarán asegurados por eslabones y estribos elaborados según los requerimientos de la obra.

Los elementos utilizados para este tipo de sistema estructural deberán cumplir con los siguientes parámetros mínimos:

Las columnas deberán utilizarse en todos los extremos de los muros, en las intersecciones de muros estructurales y en puntos intermedios donde las distancias sean mayores a 4 metros.

Las mochetas tendrán como mínimo un espesor de 10 centímetros de largo y un ancho igual al espesor del muro, en muros largos la separación entre mochetas no deberá exceder el 75 por ciento de la altura del muro, pero no deberá ser mayor a 2 metros.

Las soleras hidrófuga y de corona deberán ser fundidas con un peralte mínimo de 15 centímetros y del mismo espesor del muro. Sin embargo, en la solera intermedia se pueden utilizar bloques en forma de U con refuerzo de dos barras longitudinales corridas número 3 más eslabones número 2.

Figura 39. **Ejemplo de mampostería mixta reforzada**



Fuente: Seminario manual de mampostería aspectos estructurales.

- Construcciones fundidas

Este tipo de sistema es rápido de ejecutar, ya que utiliza encofrados de acero en forma de U invertida que permiten vaciar los muros y las losas simultáneamente. Permite que se construyan varios módulos simultáneamente, ya que mientras un módulo se va desencofrando se puede ir encofrando el otro y así cumplir con los tiempos de fraguado.

Para construcciones de fundición en serie, se puede llegar a construir edificios de más de 30 niveles de altura ya que son más livianos y tiene gran rigidez lateral.

Figura 40. **Ejemplo sistema tipo cajón (fundición en serie)**



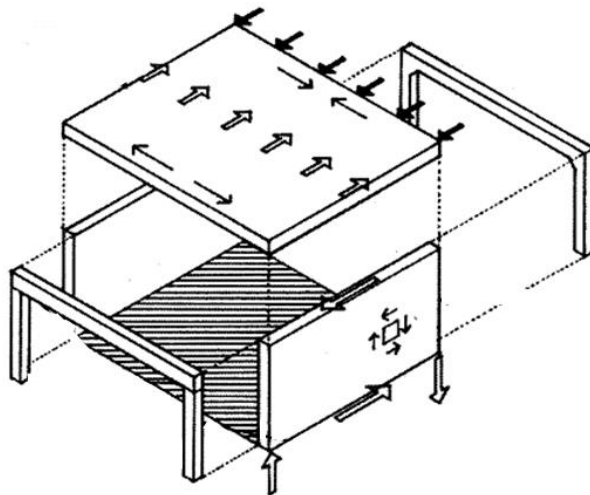
Fuente: <http://desastres.unanleon.edu.ni/pdf2/2005/abril-mayo/parte1/pdf/spa/doc13077/doc13077-e.pdf>. Consulta: 28 de febrero 2013.

2.1.3. Sistema combinado de muros y marcos (E3)

Este sistema es utilizado comúnmente para edificios de 30 y 50 metros de altura y está formado por losas que actúan de forma horizontal sostenidas por una combinación de muros estructurales y marcos.

La totalidad de las cargas sísmicas será soportada por muros estructurales o marcos arriostrados. Dichos muros pueden ser de concreto reforzado o mampostería reforzada. Los muros pueden ser ordinarios o especiales dependiendo de las solicitaciones sismorresistentes del proyecto.

Figura 41. Estructuración de sistema combinado



Fuente: <http://estructuras.eia.edu.co/estructurasI/conceptos%20fundamentales/conceptos%20fundamentales.htm>. Consulta: 5 de octubre 2013.

2.1.4. Sistema dual (E4)

Es muy similar al sistema estructural E3, con excepción que deberá contener marcos especiales que al momento de anular la rigidez horizontal de los muros y riostras, los marcos puedan resistir el 25 por ciento de las cargas laterales.

En este sistema los muros tienden a tomar una mayor porción de los esfuerzos en los niveles inferiores, mientras que los marcos pueden disipar la energía a los niveles superiores.

El problema que posee este sistema estructural es que hay que ser muy cuidadoso en cuanto a la configuración de los elementos rígidos, ya que esto puede causar concentraciones excesivas de esfuerzos en algunas zonas del edificio y una mala distribución de cargas. Sistema dual se refiere a dos líneas de defensa.

Figura 42. **Ejemplo de sistema dual**



Fuente: CRISAFULLI, Francisco. Diseño sismorresistente de construcciones de acero. p. 53.

2.1.5. Soportes en voladizo (E5-1)

Estructuras de un solo nivel o forman la parte superior de una edificación. En este sistema las columnas y muros soportan tanto las cargas verticales como horizontales, actuando como voladizos verticales, sin acción de marco en la dirección de carga horizontal.

Figura 43. **Ejemplo de estructura con soportes en voladizo**



Fuente: <http://blog.is-arquitectura.es/2011/02/15/casa-en-el-aire-con-contrapesos-estructurahormigon/>. Consulta: 9 de septiembre de 2013.

2.1.6. Péndulo invertido (E5-2)

Es un sistema estructural en el que los elementos que soportan la carga vertical resisten todas las fuerzas sísmicas; actuando como voladizos. En este tipo de sistemas más del 50 por ciento de la masa de la estructura está concentrada en la parte superior y la estabilidad de la masa depende de una restricción de momento. La capacidad del momento flector en el extremo del soporte deberá ser mayor al 50 por ciento de la capacidad en la base.

Figura 44. **Ejemplo estructura péndulo invertido**



Fuente: <http://www.slideshare.net/lidercruzrodriguez/sistemas-estructurales-13951123>.

Consulta: 6 de septiembre de 2013.

2.2. Categoría ocupacional

Para realizar un mejor diseño las estructuras se clasifican por categoría, la cual se determina por la función que tendrá la edificación y la cantidad de personas que albergará.

- **Categoría I: obras utilitarias**

Son las obras que no serán habitadas todo el tiempo, si no que de manera ocasional. Ejemplo:

- Bodegas
- Laboratorios
- Oficinas
- Instalaciones agrícolas

- Categoría II: obras ordinarias

Son obras que serán usadas constantemente por personas y albergan a menos de 300 personas. Ejemplo:

- Casas
- Apartamentos
- Hoteles pequeños
- Condominios

- Categoría III: obras importantes

Son obras de mayor de 3 000 metros cuadrados o que alberguen a más de 300 personas y presten servicios importantes. Ejemplo:

- Edificaciones gubernamentales
- Centros educativos
- Museos
- Teatros
- Mercados
- Templos
- Prisiones
- Obras donde se almacenan materiales tóxicos
- Obras de infraestructura (subestaciones eléctricas, líneas de alto voltaje, servicios de agua potable, drenajes.)

- Categoría IV: obras esenciales

Son obras de gran importancia y es necesario que permanezcan intactas durante y después de un sismo ya que son las que prestarán ayuda en caso de una catástrofe. Ejemplo:

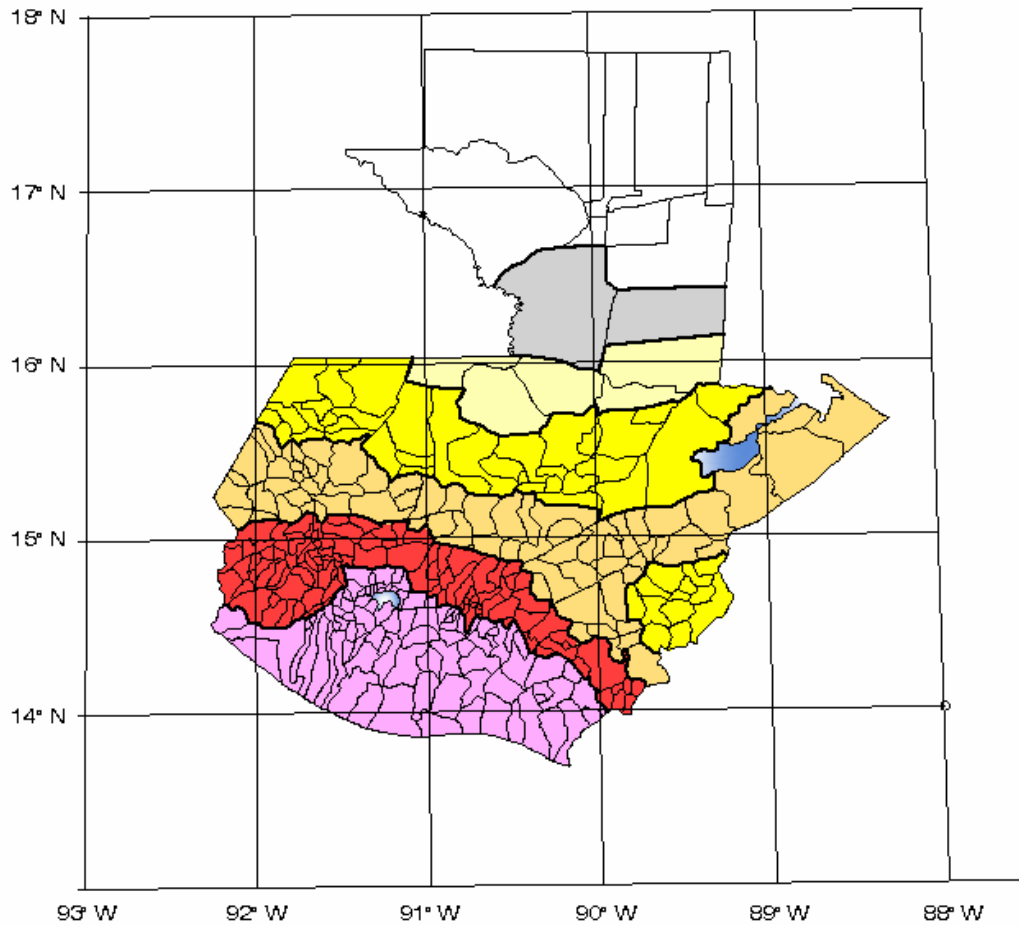
- Hospitales
- Bomberos
- Policía
- Aeropuertos
- Centrales telefónicas
- Plantas de energía
- Centrales de Radiodifusión
- Instalaciones de captación, tratamiento y distribución de agua
- Puentes sobre carreteras de primer orden
- Instalaciones designadas como albergues








2.3. Mapa de zonificación sísmica

Un mapa de zonificación sísmica (ver figura 43) integra información geológica, sismológica, geofísica y geotécnica del país, donde se limitan áreas de acuerdo a su amenaza de peligro sísmico. Estos mapas pueden ser utilizados en:

- Diseño de estructuras sismo resistentes
- Preparación de planes de manejo de desastres sísmicos
- Planificación para el uso de la tierra
- Adecuación estructural de edificios

Figura 45. Mapa de zonificación sísmica



| | I_o | S_{cr} | S_{1r} |
|-----------|--|-----------------------|-----------------------|
| 2a |  | 0.50g | 0.20g |
| 2b |  | 0.70g | 0.27g |
| 3a |  | 0.90g | 0.35g |
| 3b |  | 1.10g | 0.43g |
| 4 |  | 1.30g | 0.50g |
| 4 |  | 1.50g | 0.55g |
| 4 |  | 1.65g | 0.60g |

**ZONIFICACION SISMICA
REPUBLICA DE GUATEMALA**

**INDICE DE SISMICIDAD (I_o)
Y PARAMETROS DEL SISMO EXTREMO
CON Pe=2% EN 50 AÑOS
S_{cr} y S_{1r} EN EL BASAMENTO ROCOSO**

MAPA AGIES BASADO EN RESIS II

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p 14.

En este mapa se puede observar el índice de sismicidad para cada región de la República, así también los parámetros S_{cr} (ordenada espectral de período corto) y S_{1r} (ordenada espectral con período de un segundo). Los valores para cada uno de estos parámetros varían para cada municipio del país, dichos valores pueden encontrarse en el Listado de Amenaza Sísmica por municipios, (ver anexos).

El valor de S_{cr} y S_{1r} deberán ser ajustados para cuando haya proximidad de fallas geológicas activas en las diferentes clases de sitio.

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v * N_v$$

Donde N_a y N_v son factores que se aplican según la distancia que hay desde la obra a la falla para los diferentes tipos de fuentes sísmicas, (ver tabla IV y V).

Donde F_a y F_v son coeficientes de sitio, (ver tabla IVI y V).

Tabla IV. **Factor N_a para períodos cortos de vibración**

| Tipo de fuente | Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica (Nota 1) | | |
|----------------|--|------|---------|
| | ≤ 2 Km | 5 Km | ≥ 10 Km |
| A | 1,25 | 1,12 | 1,0 |
| B | 1,12 | 1,0 | 1,0 |
| C | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Nota 1: tomar la distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 Km
Nota 2: utilizar el factor N_a que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p 24.

Tabla V. **Factor N_v para períodos largos de vibración**

| Tipo de fuente | Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica (Nota 1) | | | |
|----------------|--|------|-------|--------------|
| | ≤ 2 Km | 5 Km | 10 Km | ≥ 15 Km |
| A | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| B | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| C | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Nota 1: tomar la distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 Km
 Nota 2: utilizar el factor N_a que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p 25.

Tabla VI. **Tipo de fuente sísmica**

| Tipo de fuente | Descripción | Máxima magnitud-momento | Tasa de corrimiento (mm por año) |
|----------------|--|---|----------------------------------|
| A | Fallas geológicas capaces de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad (nota 1) | $M_o \geq 7,0$ | $TC \geq 5$ |
| B | Fallas geológicas que no son A o C | $M_o \geq 7,0$ $M_o < 7,0$ $M_o \geq 6,5$ | $TC < 5$ $TC > 2$ $TC < 2$ |
| C | Fallas geológicas incapaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad | $M_o < 6,5$ | $TC < 2$ |

Nota 1: la zona de subducción de Guatemala se considera por la distancia a la fuente
 Nota 2: la magnitud M_o y el TC deben concurrir simultáneamente cuando se califique el tipo de fuente sísmica

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p 24.

Las fallas según el tipo de fuente:

- Tipo de fuente A: entre este tipo de fuente se clasifican las fallas principales, como lo es la falla de Motagua y la falla de Chixoy-Polochic ya que ellas generan constantes movimientos en el país.
- Tipo de fuente B: son fallas geológicas que tienen una actividad constante, sin embargo no generan sacudidas tan fuertes, entre estas se encuentra: la falla de Mixco, la falla de Santa Catarina Pinula, falla del Frutal.
- Tipo de fuente C: son las fallas de tamaño pequeño que por su poca actividad sísmica no se les tiene asignado un nombre.

2.4. Clasificación de sismos

Los sismos se clasifican según su probabilidad de ocurrencia. Cada categoría ocupacional se diseña basándose en los diferentes tipos de sismos. Los diferentes tipos de sismos son los siguientes:

2.4.1. Sismo mínimo

Son casi imperceptibles y solo son registrados por aparatos. Es el que su probabilidad de ocurrencia es mayor pero de poca magnitud. Se utiliza en obras de categoría I (obras utilitarias) y en obras existentes.

2.4.2. Sismo básico

Es el que tiene una probabilidad de 10 por ciento de ocurrencia en un período de 50 años y se utiliza para el diseño de obras de categoría II (obras ordinarias).

2.4.3. Sismo severo

Detectado por el ser humano y ocasiona daños a las estructuras. Es el que tiene una probabilidad del 5 por ciento de ocurrencia en un período de 50 años y se utilizara para el diseño de obras de categoría III (obra importante) y categoría IV (obra esencial).

2.4.4. Sismo extremo

Son tan violentos que pueden producir la destrucción de edificios con un gran número de víctimas. Es el que tiene una probabilidad del 2 por ciento de ocurrencia en un período de 50 años. Este sismo es en que se basa la elaboración del mapa de zonificación sísmica para la República de Guatemala.

2.5. Clasificación de sitio

Para la clasificación de sitio se observan las características del suelo en los 30 metros por debajo de los cimientos, esta clasificación se realiza para usar los parámetros correctos según el espectro de respuesta del suelo con el sismo.

Para determinar de mejor manera el tipo de suelo en el que se va a construir es necesario realizar estudios geológicos y geotécnicos.

Cuando no se cuente con mayor información sobre el perfil de suelo, este se clasificara como perfil D, a menos que un profesional indique que es otro tipo de perfil.

2.5.1. Perfil de suelo clase AB

Se le asigna perfiles AB al tipo de suelo rocoso o depósitos densos profundos, para el caso de Guatemala también se incluyen como suelos AB los deposito volcánicos que contengan rocas entre sanas, medianamente fracturadas, rocas sedimentarias, rocas de consolidación.

La velocidad promedio de la onda de corte en este tipo de suelo es $V_{ps} > 750$ metros sobre segundo o puede ser estimada por un geotecnista, geofísico o geólogo.

2.5.2. Perfil de suelo clase C, D y E

Cuando un sitio en estudio no califica como clase AB o F, se decidirá si es C, D o E; utilizando los criterios y parámetros que se encuentran detallados en la tabla guía para la clasificación de sitio, (ver tabla VII).

- Perfil de suelo clase C: comprende depósitos formados por fragmentos de materiales volcánicos, cenizas y arenas. Este tipo de suelos se encuentra mayormente cuando se realizan construcciones profundas (sótanos) ya que penetran debajo de los depósitos superficiales menos densos.
- Perfil de suelo clase D: se clasifica como clase D cuando hay suelo firme y rígido.

- Perfil de suelo clase E: son sedimentos aluviales no consolidados como gravas, arenas, limos y arcillas que se originan por una corriente de agua o crecida brusca, por algún terremoto o erupción volcánica.

2.5.3. Perfil de suelo clase F

Se le asigna perfil F, a suelos que dentro de los 30 metros por debajo de la cimentación sean propensos a la ocurrencia de fenómenos asociados con suelos licuables, suelos limosos de baja plasticidad, arenas limosas saturadas y arenas muy finas redondeadas o que posea una o más de las características siguientes:

- Estratos de arcillas con alto contenido orgánico cuyo espesor sea mayor a 3 metros
- Arcillas con espesor >7,5 metros e índice de plasticidad >75
- Arcillas de rigidez baja a media $S_u < 50$ kilopascales con espesor >12 metros
- Arcillas sensitivas
- Suelos probablemente cementados
- Suelos licuables

Este tipo de suelo no es recomendable para construcciones ya que no resiste a esfuerzos grandes de corte y tracción.

Tabla VII. **Guía para la clasificación de sitio**

| Clase de Sitio | | V_{ps} todo el perfil | N_p todo el perfil | N_{nc} sector no-cohesivo | S_{uc} sector cohesivo |
|----------------|--------------------------------|--|----------------------|-----------------------------|--------------------------|
| AB | Roca | 750 m/s | No aplica | No aplica | No aplica |
| C | Suelo muy denso o roca suave | 750 a 360 m/s | ≥ 30 | ≥ 30 | > 200 kPa |
| D | Suelo firme y rígido | 360 a 180 m/s | 30 a 5 | 30 a 5 | 200 a 50 kPa |
| E | Suelo suave | < 180 m/s | ≤ 5 | ≤ 5 | < 50 kPa |
| | | Cualquier perfil de suelo con un estrato de 3.0 m o más con índice de plasticidad $IP > 20$; humedad $w \geq 40\%$ y $Suc < 25$ kPa | | | |
| F | Suelo con problemas especiales | Véase NSE 2.1 Capítulo 5 | | | |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p 21.

2.6. Zonas de precaución especial

Son zonas más propensas a producir daños en las estructuras a la hora de un evento sísmico ya que están ubicadas en lugares de mayor riesgo como lo son taludes de barrancos, terrenos inclinados, franjas de terreno falladas, arenales, suelos granulares, litorales, riberas y playas.

Se toman como zonas de precaución especial las que tienen un índice de sismicidad 3 y 4.

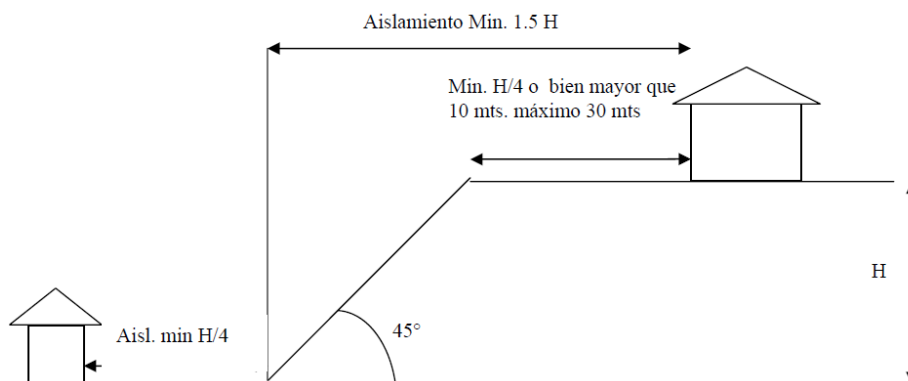
2.6.1. Talud en barrancos

Se clasifica como taludes de barrancos aquellos terrenos que tengan un ángulo de 45 grados respecto a la superficie. Antes de realizar una construcción

se debe analizar la estabilidad del talud por medio de métodos que garanticen el cumplimiento de factores de seguridad, para condiciones sísmicas este valor deberá ser mayor a 1,2.

Para construcciones cerca de barrancos deberá analizarse al menos 100 muestras de superficies del terreno, proponiendo diferentes maneras en las que un sismo pueda afectar la estructura para obtener un mejor análisis del terreno y así realizar un mejor diseño estructural. Los parámetros de aceleración sísmica aumentan un 33 por ciento dentro de una zona de barrancos.

Figura 46. **Distancia mínima para ubicación de obra**



Fuente: AGIES NSE 2.1-10, Capítulo 8. p. 30.

2.6.2. Terrenos inclinados

Aplica para terrenos que excedan el 30 por ciento de la proporción del terreno. Al igual que los terrenos ubicados en barrancos para este tipo de terrenos también se deben realizar ensayos en la superficie del terreno proponiendo diferentes condiciones sísmicas.

Para los análisis de estabilidad debe suponerse como mínimo un factor de carga sísmica horizontal de 0,15 y factor de seguridad de acciones sísmicas mayores a 1,2; todos los parámetros a utilizar deben ser establecidos por ensayos de laboratorio previamente realizados a las muestras de suelo o ensayos de resistencia en campo.

En este tipo de terreno tiene que tomarse en cuenta los deslizamientos de talud y los deslaves provocados por el exceso de agua que puede acumularse en época de lluvia. Los parámetros de aceleración sísmica aumentan un 17 por ciento dentro de una zona de terreno inclinado.

2.6.3. Franjas de terrenos falladas

Se considera así a los terrenos que estén localizados a una distancia menor de un kilómetro del proyecto o cerca de fallas activas que puedan generar sismos constantes en un área de radio superior a las 100 kilómetros. Para reconocer este tipo de suelos es necesario realizar estudios geotécnicos y geológicos según el tipo de obra que será construida, los estudios determinaran si es factible la construcción o es necesario mover la obra de lugar. Los parámetros de aceleración sísmica aumentan un 33 por ciento dentro de una zona de fallas.

Si se aprueba la construcción se deberá de ver que el suelo cumpla con parámetros mínimos de:

- Asentamiento por sismos: los asentamientos tolerables no deberán exceder de 4 centímetros a menos que se pueda argumentar este no provocara daños en la edificación.

- Asentamientos excesivos: se da cuando el suelo es altamente deformable y excede los parámetros mínimos de asentamiento por tanto, provoca cambios en la geometría de la estructura.
- Estudio de fallas activas: se deberá recurrir a archivos históricos para determinar la actividad sísmica del lugar y el potencial que tenga en afectar la seguridad de la obra.
- Influencia de taludes: no debe exceder del 30 por ciento del tamaño del terreno.
- Capacidad soporte de suelo: deberá cumplir la resistencia al corte bajo condiciones de humedad y densidad. Los porcentajes de esta resistencia va a depender del tipo de obra a construir.
- Análisis de estabilidad: se refiere a la observación del suelo a través un estudio estratigráfico.
- Inclinaciones: si hay existencia de inclinaciones estas no deberán tener un ángulo mayor a 45 grados ya que esto podría afectar en la estabilidad de la construcción.
- Existencia de suelos blandos: son suelos de baja capacidad de soporte debido a la cantidad de agua que tienen. Además, amplifican más los movimientos sísmicos.
- Existencia de fisuras, grietas o cavernas: hay que observar que en el interior del terreno no existan huecos o fracturas que provoquen asentamientos futuros.
- Profundidad de nivel freático: se deberá realizar un estudio del subsuelo con el fin de determinar el nivel de las aguas subterráneas, ya este nivel varía de profundidad dependiendo de las características geológicas y climáticas del lugar.
- Profundidad de cimentación: la profundidad mínima de la cimentación estará en función de la capacidad soporte del suelo, siempre y cuando evite problemas de erosión y arrastre del mismo.

2.6.4. Arenales y suelos granulares

El peligro con los suelos granulares saturados o arenas es que se produce licuefacción al momento de un sismo.

La licuefacción se produce cuando actúa una fuerza externa; tal como una carga sísmica, que es capaz de cambiar su densidad y hacer que adquiera una consistencia líquida.

Los suelos más susceptibles a licuefacción son los suelos arenosos, suelos limosos de baja plasticidad, arenas limosas saturadas, arenas muy finas redondeadas y arenas limpias.

Los suelos cohesivos no están considerados ser susceptibles a licuefacción; sin embargo deben cumplir con:

- Un contenido de arcilla menor del 15 por ciento
- Un límite líquido <35 por ciento
- Contenido de humedad del suelo > 0,9 veces el límite líquido

Los aspectos mínimos a verificar al momento de construir en un suelo susceptible a licuefacción son:

- Estimación de edad geológica del terreno
- Características del ambiente
- Densidad del suelo
- Tamaño de gravas y arenas
- Plasticidad del suelo
- Tipo de suelo

Si el suelo presenta alto potencial a ocurrencia de licuefacción deberá proponerse alternativas constructivas que aseguren la estabilidad de la obra si la hubiera, de no haber el terreno deberá considerarse inapropiado para la construcción.

2.6.5. Litorales, riveras y playas

El principal peligro en este tipo de terrenos son los *tsunamis* (maremotos) ya que están muy cercanos a lagos, ríos y mares.

Para establecer la ocurrencia de *tsunamis* en un lugar se deberá acudir a información histórica del lugar y deberá estimarse la frecuencia de ocurrencia, la magnitud del evento sísmico que lo produjo, altura de olas y distancia de penetración en la costa.

Para lugares cercanos al mar deberá de tomarse muy en cuenta la altura máxima de olas diariamente, el efecto de viento sobre los cuerpos de agua, ya que el agua salada es dañina en las construcciones y tiene que utilizarse materiales especiales para evitar deterioros.

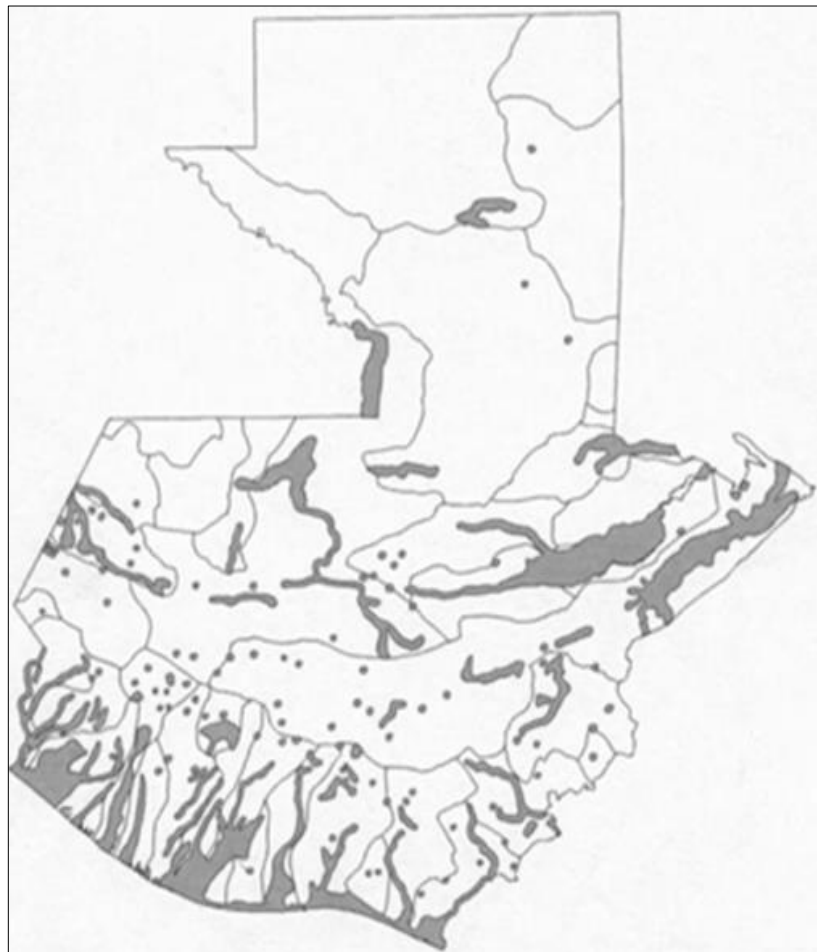
Para lugares cercanos a ríos se tendrá que ver la inestabilidad del cauce del río y se tendrán que hacer estudios hidrológicos en época de estiaje y de invierno para determinar la crecida máxima del mismo.

Para todos estos tipos de terrenos tiene que tenerse muy en cuenta la posibilidad de inundaciones ya que son propensos a estos eventos, para aspectos de análisis deberá de tomarse como base la probabilidad de ocurrencia del 1 por ciento de ser igualada o excedida en cualquier año dado.

Para la determinación de altura de ola se usara como base 1 por ciento al igual que en inundaciones.

Para determinar si el área donde está ubicado nuestro terreno es susceptible a inundaciones deberá consultarse los registros con los que se disponga; en el caso de Guatemala se puede acudir a el INSIVUMEH o a personas que habiten en la comunidad.

Figura 47. **Mapa de zonas de amenaza de inundaciones**



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

2.7. Criterio de diseño para estructuras sismorresistentes

El diseño de sistemas de resistencia sísmica deberá garantizar un comportamiento adecuado, tanto individual como de conjunto, entre cargas horizontales y verticales.

Se debe considerar que un sismo sacude todo el edificio, para esto es necesario que todos los elementos estén correctamente unidos entre sí.

2.7.1. Simetría

Se sabe que las estructuras simétricas tienden a distribuir uniformemente los esfuerzos evitando daños en las edificaciones. La falta de simetría tiende a producir excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez, y por lo tanto provoca torsión.

Cuanto más simétrica es la geometría de un edificio, menores riesgos existen de concentración de esfuerzos, de tal manera que el momento torsor en planta y el comportamiento de la estructura son más predecibles.

En edificios asimétricos, las diversas partes del edificio tienden a moverse de manera diferente ante un sismo, lo cual puede producir fallas en los puntos de conexión produciendo daños significativos y hasta su colapso.

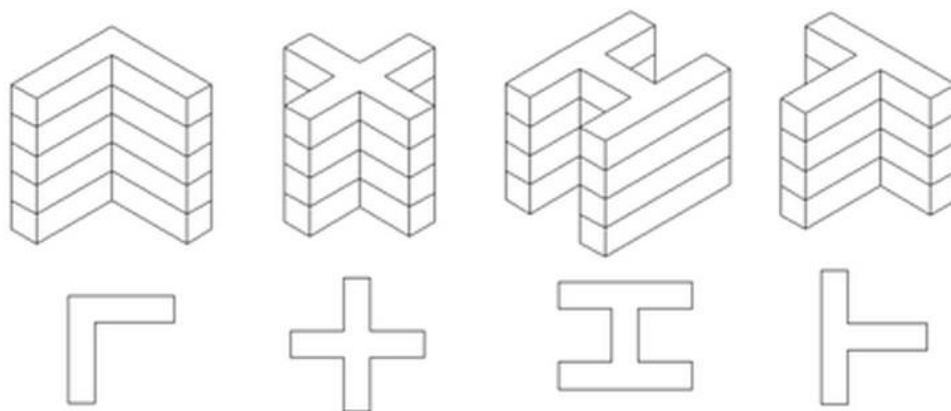
Se conoce que la mayoría de los daños severos o colapso estructural en las edificaciones tras un evento sísmico, han sido provocados por un diseño asimétrico.

La simetría deberá considerarse, no solo en la forma de distribución estructural (planta) sino también en altura la estructura (elevación). A continuación se presentaran casos:

- Simetría en planta: al momento de diseñar una estructura deberá evitarse módulos largos y angostos con longitud mayor a tres veces su ancho. La falta de simetría en planta provoca que los esfuerzos se concentren en el cuerpo principal y las alas, ya que estas trabajarían como elementos empotrados dando lugar a fallas en las uniones al momento de un sismo.

Una solución para conseguir estructuras simétricas es separándolas en cuerpos regulares por medio de juntas de separación sísmica; lo cual permitirá cierto grado de movimiento independiente de las partes. Las juntas sísmicas pueden compartir cimentaciones, pero deben separarse desde el nivel de sobrecimiento de manera que actúen independientemente.

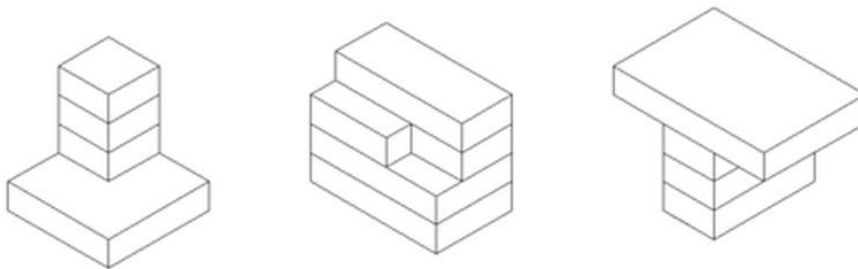
Figura 48. **Ejemplo de plantas complejas**



Fuente: Laboratorio de ingeniería sísmica universidad de Costa Rica. <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=25>. Consulta: 7 de octubre de 2013.

- Simetría en elevación: al momento de diseñar una estructura se deberá tenerse en cuenta la forma que ira adoptando cada nivel ya que la falta de simetría en cada uno de estos provocará un cambio en la rigidez y en la masa de la estructura, ocasionando concentración de esfuerzos al momento de un evento sísmico de magnitud significativa.

Figura 49. **Ejemplo de elevaciones complejas**



Fuente: Laboratorio de ingeniería sísmica universidad de Costa Rica. <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=25>. Consulta: 7 de octubre de 2013.

2.7.2. Distribución de muros

Los muros deben estar dispuestos de tal manera que provean suficiente resistencia entre los efectos sísmicos horizontales. Los muros estructurales sirven para resistir las fuerzas laterales a su propio plano, desde el nivel donde se generan hasta la cimentación, las cargas verticales de los entrepisos.

Las edificaciones deberán ser lo más simétricamente posibles en ambos lados y deberá evitarse módulos largos y angostos con longitud mayor a tres veces su ancho. También tendrán que adecuarse los vanos de puertas y ventanas para que sean lo más simétricas posibles.

La longitud mínima en metros, en cada una de las direcciones no podrá ser menor que el producto de:

$$L_o \times A_{\text{entrepiso + losa techo}}$$

Donde:

L_o : Coeficiente (ver tabla X)

A: área de entrepiso + losa de techo (m^2)

Tabla VIII. **Coeficiente L_o**

| Espesor de muro (mm) | Zona sísmica | | |
|----------------------|--------------|------|------|
| | 4,1 y 4,2 | 3 | 2 |
| 190 | 0,11 | 0,07 | 0,04 |
| 140 | 0,12 | 0,08 | 0,05 |
| 110 | 0,18 | 0,12 | 0,08 |

Fuente: AGIES NSE 7.4, Capítulo 5. p. 25.

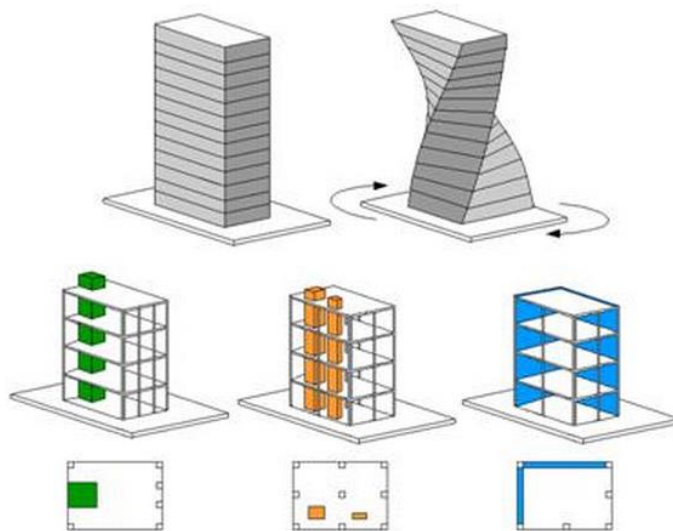
En caso de que los muros no cumplan con estos requisitos deberá aumentarse la longitud de sus muros o añadirse muros en la dirección bajo consideración.

2.7.3. Rigidez torsional

La torsión es provocada por la excentricidad entre el centro de masa y centro de rigidez, esto se debe a que los elementos rígidos están colocados de manera asimétrica en un piso. Generalmente se produce en edificios en esquina debido a la gran rigidez que representan los muros de colindancia. Para contrarrestar este efecto los muros estructurales deben ubicarse lo más cerca

de la periferia buscando la mejor simetría y rigidez torsional para garantizar un mejor comportamiento estructural.

Figura 50. **Ejemplo de arreglos que generan torsión**



Fuente: Laboratorio de ingeniería sísmica universidad de Costa Rica. <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=25>. Consulta: 7 de octubre de 2013.

2.8. **Condiciones básicas para utilizar el método estático equivalente**

El método estático equivalente permite modelar cargas horizontales y verticales externas que son aplicadas a lo alto y ancho de una edificación.

El método estático equivalente se podrá utilizar mientras las estructuras cumplan con las siguientes condiciones:

- Estructuras con categoría ocupacional utilitaria y ordinaria, con una altura hasta de 3 niveles sobre la base.
 - Categoría ocupacional utilitaria: son las obras que no serán habitadas todo el tiempo, si no de manera esporádica; como lo son: oficinas, bodegas, laboratorios, entre otras.
 - Categoría ocupacional ordinaria: son obras que serán usadas constantemente y albergan a menos de 300 personas; entre este tipo de obras se pueden clasificar las casas, apartamentos, condominios, hoteles pequeños, entre otros.

- Estructuras sin ninguna irregularidad ya sea en planta o en elevación; que no excedan los 50 metros de altura sobre la base. La descripción de estas irregularidades se puede observar en las siguientes tablas.

Tabla IX. **Características de irregularidades en planta**

| Tipo de irregularidad | Descripción | Nivel de Protección al que aplica | Sección de referencia |
|---|--|-----------------------------------|------------------------|
| H1-A | Giro mayor de diafragma: en la dirección de la carga lateral, la deriva en un extremo es mayor que 1.5 veces la deriva en el otro extremo | D, E | 1.8.3.4 ● 1.10.5 |
| | | C, D, E | 1.8.3.5 ● 1.10.5 |
| | | B, C, D, E | 1.10.5 |
| H1-B | Giro extremo del diafragma: en la dirección de la carga lateral, la deriva en un extremo es mayor que 2.3 veces la deriva en el otro extremo | E | 1.8.3.1 ♦ |
| | | D | 1.8.3.4 ● 1.10.5 |
| | | C, D | 1.8.3.5 ● 1.10.5 |
| | | B, C, D | 1.10.5 |
| H2 | Esquina entrante: al menos una esquina del diafragma está recortada más de 25% en la dirección de análisis | D, E | 1.8.3.4 ● 1.10.5 |
| H3 | Diafragma discontinuo: el diafragma tiene menos del 50% del área del rectángulo que circunscribe al piso o si cambia rigidez en más de 50% de un piso al siguiente | D, E | 1.8.3.4 ● 1.10.5 |
| H4 | Desfase lateral: un muro o marco o columna se interrumpe y se reanuda total o parcialmente hacia un lado | D, E | 1.8.3.4 ● 1.10.5 |
| | | B, C, D, E | 1.8.3.3 Ω _r |
| | | B, C, D, E | 1.10.5 |
| H5 | Sistema no-paralelo: cuando hay uno o más marcos o muros que no son paralelos a los ejes principales de la estructura | D, E | 1.10.5 |
| | | B, C, D, E | 1.8.3.6 |
| | | B, C, D, E | 4.2.4 |
| 1) La tabla no aplica a estructuras sin diafragma o con diafragma sin rigidez ♦ irregularidad prohibida para el NdP indicado ● precaución especial para el NdP indicado Ω _r irregularidad requiere aplicar Ω _r para resolverla | | | |

Fuente: AGIES NSE 3-10, Capítulo 1. p. 15.

Tabla X. Características de irregularidades en elevación

| Tipo de irregularidad | Descripción | Nivel de Protección al que aplica | Sección de referencia |
|---|--|-----------------------------------|------------------------------|
| V1 A | Piso flexible: rigidez lateral de un piso menos que 70% de la rigidez del piso de encima; o menos que 80% de la rigidez promedio de los 3 pisos encima | D, E | 1.10.5 |
| V1 B | Piso flexible – caso extremo: rigidez lateral de un piso menos que 60% de la rigidez del piso de encima; o menos que 70% de la rigidez promedio de los 3 pisos encima – nota 1 | D | 1.10.5 |
| | | E | 1.8.3.1 ♦ |
| V2 | Masa irregular verticalmente: el peso sísmico de un piso es mas del 150% del peso sísmico de cada piso adyacente | D, E | 1.10.5 |
| V3 | Geometría vertical escalonada: la dimensión horizontal de la mitad o más de los marcos se reduce en más de 75% | D, E | 1.10.5 |
| V4 | Discontinuidad en plano vertical: uno de los sistemas sismo-resistentes verticales sufre un desfase o reducción | B, C, D, E | 1.8.3.3 Ω_r |
| | | D, E | 1.8.3.4 ● 1.10.5 |
| V5-A | Piso débil: la resistencia del piso es 80% o menos que la resistencia del piso superior | D | 1.10.5 |
| | | E | 1.8.3.1 ♦ |
| V5-B | Piso débil – caso extremo: la resistencia del piso es 65% o menos que la resistencia del piso superior | D, E | 1.8.3.1 ♦ |
| | | B, C | 1.8.3.2 Ω_r 1.10.5 |
| <p>1) para verificar esta condición se puede hacer un análisis estático equivalente de ensayo y comparar las derivas unitarias en los pisos (para este chequeo no importa valor absoluto de las derivas): la rigidez lateral es directamente proporcional a las derivas unitarias elásticas – (derivadas ver Sección 4.3)</p> <p>2) para verificar esta condición en forma preliminar rápida se puede sumar, en la dirección de interés, las secciones de todos los elementos capaces de recolectar carga lateral y comparar los totales en los pisos verificados; en caso necesario se podrá detallar más el chequeo</p> <p>♦ irregularidad prohibida para el NdP indicado</p> <p>● precaución especial para el NdP indicado</p> <p>Ω_r irregularidad requiere aplicar Ω_r para resolverla</p> | | | |

Fuente: AGIES NSE 3-10, Capítulo 1. p. 16.

Edificaciones que no excedan 30 metros de altura sobre la base aunque tengan irregularidades; mientras no sean de tipo H1, V1, V2 o V3. Este tipo de irregularidades están descritas en las tablas IX y X.

- Para analizar estructuras con nivel de protección B o C

El nivel de protección sísmica se debe utilizar en el diseño estructural de edificaciones con el fin de salvaguardar la vida de las personas que hacen uso de ellas y proveer protección a las estructuras para evitar su colapso en caso de actividad sísmica.

El nivel de protección sísmica depende del índice de sismicidad el cual va a variar dependiendo de la categoría ocupacional de la obra y de la clasificación del suelo donde se edificara la obra, (ver tabla VIII).

Tabla XI. **Nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad de sismo**

| Índice de sismicidad | Clase de obra | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------|------------|
| | Esencial | Importante | Ordinaria | Utilitaria |
| $I_o = 5$ | E | E | D | C |
| $I_o = 4$ | E | D | D | C |
| $I_o = 3$ | D | C | C | B |
| $I_o = 2$ | C | B | B | A |
| Probabilidad de exceder un sismo de diseño | 5 % en 50 años | 5 % en 50 años | 10 % en 50 años | No aplica |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 11.

El método estático equivalente se calculara en todos los casos independientemente el tipo de estructura y la irregularidad que tenga; ya que los datos obtenidos serán utilizados como referencia de calibración para la fuerzas de diseño en el método de análisis modal espectral.

3. EJEMPLIFICACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL SEGÚN EL MÉTODO ESTÁTICO EQUIVALENTE

El método estático equivalente permite modelar cargas horizontales y verticales externas que son aplicadas a lo alto y ancho de una edificación.

3.1. Ejemplo para sistema de marcos (E1)

En el siguiente ejemplo se considerara que la edificación tendrá marcos tipo B; esto quiere decir, que serán de concreto reforzado y de acero estructural.

3.1.1. Datos básicos del ejemplo

A continuación se especifican las dimensiones que llevará la construcción a ejemplificar, la cual estará ubicada en el departamento de Mazatenango, Suchitepéquez; con un tipo de suelo que se clasifica como AB.

Uso: oficinas

Zapatas: 1,00 x 0,80 x 0,25

Columnas:

Principales: 0,30 x 0,30

Secundarias: 0,15 x 0,15

Vigas:

Principales: 0,40 x 0,30

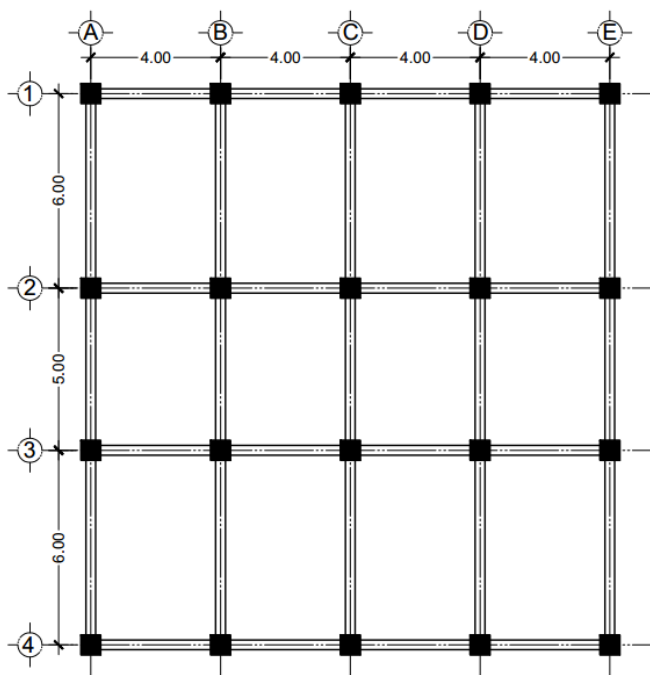
Secundarias: 0,25 x 0,15

Para calcular el peso muerto de la estructura se utilizara un concreto de 3000 PSI con un peso muerto de 2 400 kilogramos por metro cúbico.

3.1.1.1. Esquemas planta y elevación

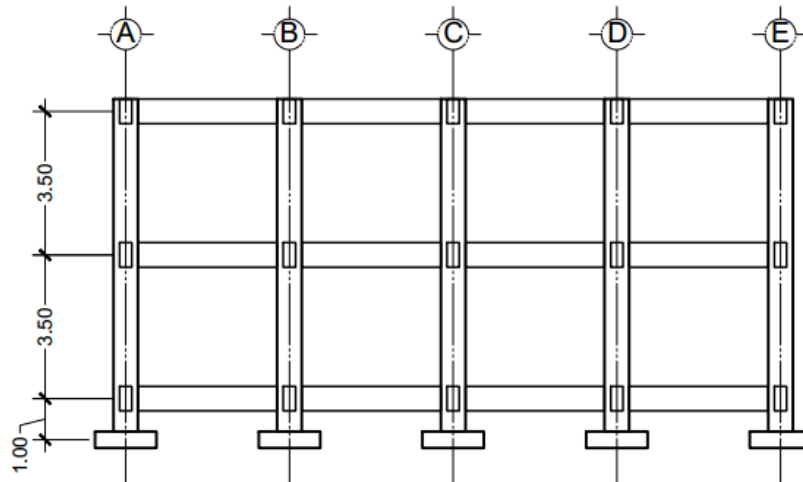
En la planta arquitectónica, se observa que sobre el eje X se cuenta con 4 marcos y sobre el eje Y con 3 marcos, los cuales están distribuidos simétricamente para una mejor resistencia. En el plano de elevación, se observa que es una construcción de dos niveles con 3 metros 50 centímetros de luz en cada uno de ellos.

Figura 51. **Planta arquitectónica**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

Figura 52. Elevación arquitectónica



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

3.1.2. Cálculo de metros lineales

Para calcular los metros lineales, se suma la longitud de cada uno de los marcos; en este caso en el eje X se tiene $4+4+4+4$ lo cual suma 16 y en el eje Y $6+5+6$ lo cual suma 17.

$$16+16+16+16+17+17+17+17+17 = 149 \text{ ml}$$

3.1.3. Cálculo de espesor de losa

Para estimar el espesor de losa a utilizar, se divide el perímetro dentro de 180; este cálculo se realiza para cada una de las diferentes dimensiones de losas que se puedan generar debido a la longitud de los marcos.

$$t = \frac{P}{180}$$

Se analizan las dos dimensiones de losas:

$$t = \frac{(6 * 2) + (4 * 2)}{180} = 0,11 \approx 0,12$$

$$t = \frac{(5 * 2) + (5 * 2)}{180} = 0,11 \approx 0,12$$

3.1.4. Integración de peso estructural

El peso estructural incluye tanto la carga muerta (peso propio de la estructura) como la carga viva (carga variable según uso de la obra) que deberá soportar la estructura.

3.1.4.1. Cálculo de carga muerta

Es la carga permanente debida al peso de todos los elementos constructivos que conforman la estructura, cuya magnitud es constante a lo largo del tiempo. Esta carga se calcula multiplicando las dimensiones de los elementos por el número en el que se repite cada uno de estos elementos y por el peso del concreto por metro cuadrado de construcción.

- Primer nivel

| | | | | |
|-------------------|--------------------------------|---|--------|-------------------|
| Zapatas: | 0,80 x 1,00 x 0,25 x 8 x 2 400 | = | 3 840 | kg/m ² |
| Cimiento corrido: | 0,40 x 0,20 x 149 x 2 400 | = | 28 608 | kg/m ² |
| Soleras: | H 0,15 x 0,15 x 149 x 2 400 | = | 8 046 | kg/m ² |

| | | | | | |
|-----------|---|--------------------------------|---|---------|-------------------|
| | I | 0,15 x 0,15 x 149 x 2 400 | = | 8 046 | kg/m ² |
| Columnas: | P | 0,30 x 0,30 x 4,5 x 12 x 2 400 | = | 11 664 | kg/m ² |
| | S | 0,15 x 0,15 x 4,5 x 8 x 2 400 | = | 1 944 | kg/m ² |
| Vigas: | P | 0,40 x 0,30 x 115 x 2 400 | = | 33 120 | kg/m ² |
| | S | 0,25 x 0,15 x 34 x 2 400 | = | 3 060 | kg/m ² |
| Muros: | | 149 x 4,5 x 220 | = | 147 510 | kg/m ² |
| Losa: | | 0,12 x 17 x 16 x 2 400 | = | 78 336 | kg/m ² |
| Acabados: | | 149 x 5,25 x 120 | = | 93 870 | kg/m ² |

Tabla XII. **Tabla resumen CM primer nivel**

| Carga Muerta | |
|---------------------|---------------------------------|
| Zapatas | 3 840 |
| Cimiento corrido | 28 608 |
| Soleras | 16 092 |
| Columnas | 13 608 |
| Vigas | 36 180 |
| Muros | 147 510 |
| Losa | 78 336 |
| Acabados | 93 870 |
| Total | 418 044 kg/m² |

Fuente: elaboración propia.

- Segundo nivel

| | | | | | |
|-----------|---|--------------------------------|---|--------|-------------------|
| Soleras: | I | 0,15 x 0,15 x 149 x 2 400 | = | 8 046 | kg/m ² |
| Columnas: | P | 0,30 x 0,30 x 3,5 x 12 x 2 400 | = | 9 072 | kg/m ² |
| | S | 0,15 x 0,15 x 3,5 x 8 x 2 400 | = | 1 512 | kg/m ² |
| Vigas: | P | 0,40 x 0,30 x 115 x 2 400 | = | 33 120 | kg/m ² |
| | S | 0,25 x 0,15 x 34 x 2 400 | = | 3 060 | kg/m ² |

| | | | | |
|-----------|------------------------|---|---------|-------------------|
| Muros: | 149 x 3,5 x 220 | = | 114 730 | kg/m ² |
| Losa: | 0,12 x 17 x 16 x 2 400 | = | 78 336 | kg/m ² |
| Acabados: | 149 x 1,75 x 120 | = | 31 290 | kg/m ² |

Tabla XIII. **Tabla resumen CM segundo nivel**

| Carga Muerta | |
|---------------------|---------------------------------|
| Soleras | 8 046 |
| Columnas | 10 584 |
| Vigas | 36 180 |
| Muros | 114 730 |
| Losa | 78 336 |
| Acabados | 31 290 |
| Total | 279 166 kg/m² |

Fuente: elaboración propia.

3.1.4.2. Cálculo de carga viva

Como esta edificación será usada como oficinas, la carga viva a utilizar será de 250 kilogramos por metro cuadrado. Este dato es tomado de las tablas donde se estima el peso de cargas vivas según el tipo de uso que tendrá la obra; tablas extraídas del AGIES 2010 (ver anexos).

3.1.4.3. Cálculo de peso total

El peso total de la estructura, se estima por medio de la fórmula que a continuación se describe; suma de la carga muerta más el 25 por ciento de la carga viva. En este ejemplo se calcula el peso de cada nivel, luego se realiza la sumatoria de todos los niveles para obtener el peso total de la construcción.

$$W_s = CM + 25\% CV$$

Donde:

CM = Carga Muerta

CV = Carga Viva

- Primer nivel

$$W_{s1} = 418\ 044 + [0,25 (16 \times 17 \times 250)] = 435\ 044$$

$$W_{s1} = 435\ 044 \text{ Kg/m}^2$$

- Segundo Nivel

$$W_{s2} = 279\ 166 + [0,25 (16 \times 17 \times 250)] = 296\ 166$$

$$W_{s2} = 296\ 166 \text{ Kg/m}^2$$

Peso total

$$W_s = 435\ 044 + 296\ 166 = 731\ 210$$

$$W_s = 731\ 210 \text{ Kg/m}^2$$

3.1.5. Cálculo de corte basal según método estático equivalente

El cortante basal, simula una fuerza de reacción que se presenta en todos los marcos de la estructura, al momento de verse afectada por una carga externa y se distribuye a todo lo alto de la misma. Representa la fuerza equivalente al peso de la estructura por un coeficiente sísmico de diseño.

$$V_B = C_s W_s$$

Donde:

C_s = Coeficiente sísmico de diseño

W_s = Peso total de la edificación

El valor del peso total de la edificación es el valor calculado en el inciso anterior $W_s = 731\ 210$ kilogramos por metro cuadrado; mientras que para calcular el valor del coeficiente sísmico de diseño se debe empezar por calcular el valor del S_{cs} y S_{1s} .

3.1.5.1. Cálculo de ordenada espectral ajustada

Se empieza calculando el valor de S_{cs} y S_{1s} ; para ello se observan las tablas de listado de amenaza sísmica por municipios, (ver anexos). De allí se obtienen los siguientes datos:

Para Mazatenango, Suchitepéquez:

$$I_o = 4$$

$$S_{cr} = 1,65 \text{ g}$$

$$S_{1r} = 0,60 \text{ g}$$

Ya que la obra del ejemplo se usara como oficinas; es decir, como obra utilitaria. Según AGIES 2010 también se puede utilizar el nivel mínimo de protección sísmica según categoría ocupacional, en este caso se podría utilizar un $I_o = 2$. Pero para este ejemplo se seguirá utilizando el indicado por la tabla de amenaza sísmica $I_o = 4$.

Tabla XIV. Nivel mínimo de protección sísmica

| Índice de sismicidad | Clase de obra | | | |
|--|----------------|----------------|-----------------|------------|
| | Esencial | Importante | Ordinaria | Utilitaria |
| $I_o = 5$ | E | E | D | C |
| $I_o = 4$ | E | D | D | C |
| $I_o = 3$ | D | C | C | B |
| $I_o = 2$ | C | B | B | A |
| Probabilidad de exceder un sismo de diseño | 5 % en 50 años | 5 % en 50 años | 10 % en 50 años | No aplica |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 11.

$$S_{cs} = S_{cr} \times F_a$$

El valor de F_a se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla XV. Coeficiente de sitio F_a

| Clase de sitio | Índice de sismicidad | | | | |
|----------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 2a | 2b | 3a | 3b | 4 |
| AB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| C | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| D | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| E | 1,7 | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 0,9 |
| F | Se requiere evaluación específica | | | | |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 15.

Entonces,

$$S_{cs} = 1,65 \times 1,0 = 1,65$$

Cálculo de ordenada espectral ajustada con periodo de vibración de 1 segundo:

$$S_{1s} = S_{1r} \times F_v$$

El valor de F_v se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla XVI. **Coficiente de sitio F_v**

| Clase de sitio | Índice de sismicidad | | | | |
|----------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 2a | 2b | 3a | 3b | 4 |
| AB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| C | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| D | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 |
| E | 3,2 | 2,8 | 2,6 | 2,4 | 2,4 |
| F | Se requiere evaluación específica | | | | |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 15.

Entonces,

$$S_{1s} = 0,60 \times 1,0 = 0,60$$

En algunos casos el valor de S_{cs} y S_{1r} deberá ser ajustado debido a intensidades sísmicas especiales:

$$S_{cs} = S_{cr} \times F_a \times N_a$$

$$S_{1s} = S_{1s} \times F_v \times N_v$$

Donde:

N_a y N_v son factores que se aplican por la proximidad de las amenazas especiales, según la siguiente tabla.

Tabla XVII. **Amenazas especiales**

| Tipo de fuente | Descripción | Máxima magnitud-momento | Tasa de corrimiento (mm por año) |
|----------------|--|---|----------------------------------|
| A | Fallas geológicas capaces de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad (nota 1) | $M_0 \geq 7,0$ | $TC \geq 5$ |
| B | Fallas geológicas que no son A o C | $M_0 \geq 7,0$ $M_0 < 7,0$ $M_0 \geq 6,5$ | $TC < 5$ $TC > 2$ $TC < 2$ |
| C | Fallas geológicas incapaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad | $M_0 < 6,5$ | $TC < 2$ |

Nota 1: la zona de subducción de Guatemala se considera por la distancia a la fuente
Nota 2: la magnitud M_0 y el TC deben concurrir simultáneamente cuando se califique el tipo de fuente sísmica

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 24.

Tabla XVIII. **Factor N_a para períodos cortos de vibración**

| Tipo de fuente | Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica (Nota 1) | | |
|----------------|--|------|--------------|
| | ≤ 2 Km | 5 Km | ≥ 10 Km |
| A | 1,25 | 1,12 | 1,0 |
| B | 1,12 | 1,0 | 1,0 |
| C | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Nota 1: tomar la distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 Km
 Nota 2: utilizar el factor N_a que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 24.

Tabla XIX. **Factor N_v para períodos largos de vibración**

| Tipo de fuente | Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica (Nota 1) | | | |
|----------------|--|------|-------|--------------|
| | ≤ 2 Km | 5 Km | 10 Km | ≥ 15 Km |
| A | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 |
| B | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| C | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Nota 1: tomar la distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 Km
 Nota 2: utilizar el factor N_a que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p 25.

3.1.5.2. **Cálculo del espectro calibrado al nivel de diseño**

Para el cálculo del espectro calibrado, es necesario conocer el tipo de sismo sobre el cual se diseñará y el porcentaje de probabilidad de ocurrencia; con estos datos se observa en la tabla el valor del factor de determinación del nivel de diseño y se multiplica por la ordenada espectral ajustada.

$$S_{cd} = K_d \times S_{cs}$$

$$S_{1d} = K_d \times S_{1s}$$

El valor de K_d dependerá de probabilidad de ocurrencia de los sismos.

Tabla XX. **Factor de determinación del nivel de diseño**

| | | |
|------------------------|--|--------------|
| Sismo ordinario | 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años | $K_d = 0,66$ |
| Sismo severo | 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años | $K_d = 0,80$ |
| Sismo extremo | 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años | $K_d = 1,00$ |
| Sismo mínimo | Condición de excepción | $K_d = 0,55$ |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 16.

$$S_{cd} = 0,66 \times 1,65 = 1,089$$

$$S_{1d} = 0,66 \times 0,60 = 0,396$$

3.1.5.3. Cálculo de ordenada espectral para cualquier periodo de vibración

El valor de la ordenada espectral, dependerá si el período fundamental es mayor o menor que el período expresado en segundos. El formulario de la parte posterior de la tesis describe paso a paso que se deberá calcularse primero para obtener este valor, (ver anexos).

$$S_a(T) = S_{cd}$$

$$S_a(T) = S_{1d} / T$$

$$S_a(T) = 1,089$$

$$S_a(T) = 0,396 / 0,2108 = 1,8785$$

3.1.5.4. Cálculo de período fundamental

El período fundamental (T) se puede calcular de 3 diferentes maneras; de forma empírica, de forma genérica y de forma analítica. Todas estas serán válidas para ser utilizadas en la fórmula.

- Forma empírica

$$T_a = K_T (h_n)^x$$

Donde:

h_n = altura total del edificio en metros

K_T y x se dan según el sistema estructural a utilizar en la edificación; AGIES 2010

$K_T = 0,049$ $x = 0,75$ para sistemas estructurales E1, E3, E4 o E5

$K_T = 0,047$ $x = 0,90$ solamente para sistemas estructurales E2 de concreto reforzado que sean abiertos o con fachadas de vidrio o paneles livianos y pocas particiones rígidas.

$K_T = 0,049$ $x = 0,85$ para sistemas E2 de concreto reforzado con fachadas rígidas o que no cumplan con el párrafo anterior.

$K_T = 0,072$ $x = 0,80$ solamente para sistemas E2 de acero que sean abiertos o con fachadas de vidrio o paneles livianos y pocas particiones rígidas.

$K_T = 0,072$ $x = 0,75$ para sistemas E2 de acero rigidizados.

- Forma genérica

$$T_a = \frac{0,0019}{\sqrt{C_w}} (h_n^x)$$

$$C_w = \frac{9,30}{A_B} \sum_{i=1}^x \left(\frac{h_n}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]}$$

Donde:

h_n = altura de la estructura sobre la base

x = número de muros estructurales en la dirección de análisis

h_i = altura total del muro i sobre la base

A_i = área del alma del muro i en metros cuadrados

D_i = longitud del alma del muro i

A_B = área de la planta de la estructura en metros cuadrados

- Forma analítica

$$T_F = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i u_i^2)}{g \sum_{i=1}^n (F_i u_i)}}$$

Donde:

W_i = pesos sísmico efectivo del nivel i

u_i = desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i

F_i = fuerza estática equivalente para el nivel i

g = aceleración debida a la gravedad ($9,81\text{m/s}^2$)

Para el cálculo de este ejemplo se utilizará la forma empírica. Como este ejemplo es un sistema estructural E1 corresponde utilizar los valores de $K_T = 0,049$ y $x = 0,75$ y el valor de la altura es de 8 metros ya que cada nivel será de 3,5 metros de altura más 1 metro de cimentación.

Entonces,

$$T_a = 0,049 (7)^{0,75} = 0,2108 \text{ s}$$

$$T = T_a$$

3.1.5.5. Cálculo del período expresado en segundos

El período expresado en segundos que separa los períodos cortos de los largos, se calcula dividiendo la ordenada espectral ajustada con período de vibración de un segundo dentro de la ordenada espectral ajustada en el sitio de interés.

$$T_s = S_{1s} / S_{cs}$$

$$T_s = 0,60 / 1,65 = 0,3636 \text{ s}$$

Luego se realiza la comparación entre T y T_s

$$T = 0,2108 \leq T_s = 0,3636$$

Tabla XXI. **Comparación de períodos**

| $T \leq T_s$ | $T > T_s$ |
|-----------------------|--------------------------|
| $S_a (T) = S_{cd}$ | $S_a (T) = S_{1d} / T$ |
| $S_{cd} = K_d S_{cs}$ | $S_{1d} = K_d S_{1s}$ |

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar nuestro valor obtenido $T \leq T_s$ entonces se debe utilizar el valor obtenido en la fórmula $S_a (T) = S_{cd}$ que para el ejemplo sería:

$$S_a (T) = S_{cd}$$

$$S_a (T) = 1,089$$

3.1.5.6. **Cálculo de coeficiente sísmico**

El coeficiente sísmico, es el coeficiente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efectos del sismo; dicho coeficiente se calcula por la división de la ordenada espectral para cualquier período de vibración entre un factor de reducción R.

$$C_s = \frac{S_a (T)}{R}$$

Donde:

$S_a (T)$: demanda sísmica de diseño

R : factor de reducción

T : período fundamental

El valor de R dependerá del sistema estructural y del tipo de material con que se realice la construcción. Valor obtenido de tablas según AGIES, (ver anexos).

Tabla XXII. **Coficiente y factores para diseño de sistemas sismorresistentes**

| | SISTEMA ESTRUCTURAL (sección 1.5) | Sistema Constructivo véase Secc 1.5.8 | R | Ω_r | C_d | Límite de altura en metros | | | |
|------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----|------------|-------|----------------------------|----|----|----|
| | | | | | | Nivel de protección | | | |
| | | | | | | B | C | D | E |
| E1 | SISTEMA DE MARCOS | | | | | | | | |
| E1-A | Marcos tipo A | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado | NSE 7.1 | 8 | 3 | 5,5 | SL | SL | SL | SL |
| | De acero estructural | NSE 7.5 | 8 | 3 | 5,5 | SL | SL | SL | SL |
| E1-B | Marcos tipo B | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado | NSE 7.1 | 5 | 3 | 4,5 | 50 | 30 | 12 | NP |
| | De acero estructural | NSE 7.5 | 4,5 | 3 | 4 | 50 | 30 | 12 | NP |
| E1-C | Marcos tipo C | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado | NSE 7.1 | 3 | 3 | 3 | 30 | NP | NP | NP |
| | De acero estructural | NSE 7.5 | 3,5 | 3 | 2,5 | 30 | NP | NP | NP |

Fuente: AGIES NSE 3-10, Capítulo 1. p. 11.

Para este ejemplo se utilizara un valor de R= 5 ya que un marco E1-B de concreto reforzado.

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R}$$

$$C_s = \frac{1,089(0,2108)}{5} = 0,04591$$

Después se debe verificar lo siguiente:

$$C_s \geq 0,044 S_{cd}$$

$$C_s \geq 0,5 S_{1r} / R$$

$$C_s \geq 0,044 S_{cd}$$

$$0,06427 \geq 0,044 \times 1,089$$

$$0,06427 \geq 0,04792$$

$$C_s \geq 0,5 S_{1r} / R$$

$$0,06427 \geq 0,5 \times 0,60 / 5$$

$$0,06427 \geq 0,060$$

En este ejemplo el valor de C_s cumple ya que es mayor en los dos casos.

3.1.5.7. Cálculo del valor de corte basal

Con todos los valores obtenidos en los incisos anteriores, se procede a calcular el corte basal, el cual dará un valor en toneladas que se distribuirá posteriormente en cada uno de los niveles de la edificación de acuerdo a la fuerza sísmica que soporte cada uno de ellos.

$$V_B = C_s W_s$$

$$V_B = 0,06427 \times 731\,210 = 33\,569,85 \approx 34\,000$$

$$V_B = 34\,T$$

3.1.6. Distribución de fuerzas sísmicas por nivel

La fuerza sísmica va relacionada con la altura y el peso de cada nivel; los niveles superiores soportan mayor fuerza sísmica debido a que la altura desde la base es mayor que la altura de niveles inferiores. Dicha fuerza debe distribuirse a los diversos miembros verticales del sistema sismorresistente para que sean transmitidas a las cimentaciones. En este ejemplo el valor de las fuerzas en el eje X es igual a las del eje Y debido a la simetría del diseño de la edificación.

$$F_x = C_{vx} V_B$$

Donde:

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)}$$

F_x = es el cortante de cedencia en el nivel x de la edificación

h_x = es la altura del nivel x sobre la base

$k = 1$ para $T \leq 0,5$ s

$k = 0,75 + 0,5 T_s$ para $0,5 < T \leq 2,5$ s

$k = 2$ para $T > 2,5$ s

Se utilizara $k = 1$ ya que nuestro periodo es menor de 0,5 segundos.

Tabla XXIII. **Peso y altura por nivel**

| Nivel | W _i | h _i | W _i × h _i | W _i × h _i ¹ |
|-------|----------------|----------------|---------------------------------|--|
| 2 | 296 166 | 7 | 2 073 162 | 2 073 162 |
| 1 | 435 044 | 3,5 | 1 522 654 | 1 522 654 |
| | Σ 731 210 | | Σ 3 595 816 | Σ 3 595 816 |

Fuente: elaboración propia.

$$C_{vx1} = \frac{(435\ 044)(3,5)^1}{(3\ 595\ 816)} = 0,4234$$

$$C_{vx2} = \frac{(296\ 166)(7)^1}{(3\ 595\ 816)} = 0,5765$$

Luego se calcula la fuerza por nivel:

$$F_1 = (0,4234) (34) = 14\ T$$

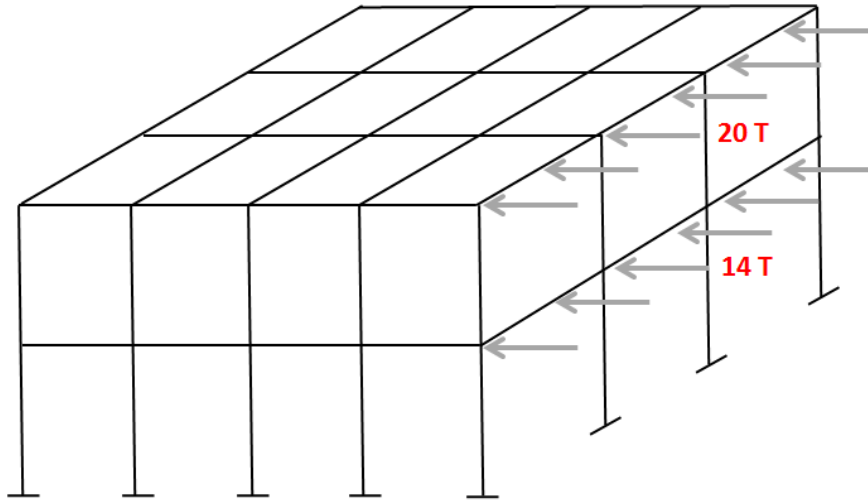
$$F_2 = (0,5765) (34) = 20\ T$$

Tabla XXIV. **Fuerzas por nivel**

| Nivel | W _i | h _i | Dirección X | | Dirección Y | |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | F _i | V _i | F _i | V _i |
| 2 | 296 166 | 7 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 1 | 435 044 | 3,5 | 14 | 34 | 14 | 34 |
| | Σ 731 210 | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Esquema de fuerzas por nivel**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

3.1.7. **Determinación de las fuerzas sísmicas en los diferentes marcos**

Para calcular las fuerzas sísmicas que soportará cada uno de los marcos, deberán realizarse varios cálculos como: fuerzas por nivel, rigidez, corte directo, centro de torsión y corte total.

3.1.7.1. **Cálculo de rigidez**

Este cálculo se realizará únicamente en el nivel de estudio y se determina calculando la rigidez de las columnas del nivel de estudio, y la rigidez de las vigas tanto en el nivel superior como en el inferior; para luego introducirlas en la fórmula descrita abajo. Para este ejemplo se utilizará el primer nivel como el nivel en estudio.

$$R_i = \frac{48 E}{h_i \left[\frac{4h_i}{\sum k_{ci}} + \frac{h_f+h_s}{\sum k_{vf}} + \frac{h_i+h_f}{\sum k_{vi}} \right]}$$

Donde:

h_i = altura de nivel en estudio

h_f = altura del nivel inferior

h_s = altura del nivel superior

k_{ci} = rigidez de columnas en nivel de estudio

k_{vi} = rigidez de vigas en el nivel de estudio

k_{vf} = rigidez de vigas en el nivel inferior

Eje X:

- Columnas

$$K_{col} = \frac{I}{L} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L}$$

$$K_{col. principales} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 30 \times 30^3}{450} = 150 \times 3 = 450$$

$$K_{col. secundarias} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 15 \times 15^3}{450} = 9,375 \times 2 = 18,75$$

$$\sum K_{col} = 450 + 18,75 = 468,75$$

- Vigas

$$K_{\text{vigas}} = \frac{I}{L} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L}$$

$$K_{\text{vig. principales}} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 30 \times 40^3}{400} = 400 \times 4 = 1\,600$$

$$\sum K_{\text{vig.}} = 1600$$

Eje Y:

- Columnas

$$K_{\text{col}} = \frac{I}{L} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L}$$

$$K_{\text{col. principales}} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 30 \times 30^3}{450} = 150 \times 4 = 600$$

$$\sum K_{\text{col.}} = 600$$

- Vigas

$$K_{\text{vigas}} = \frac{I}{L} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L}$$

$$K_{\text{vig. principales}} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 30 \times 40^3}{400} = 400 \times 3 = 1\,200$$

$$\sum K_{vig} = 1\,200$$

$$R_{ix} = \frac{48E}{450 \left[\frac{4(450)}{468,75} + \frac{0 + 350}{0} + \frac{450 + 0}{1\,600} \right]} = 0,0258 E$$

$$R_{iy} = \frac{48E}{450 \left[\frac{4(450)}{600} + \frac{0 + 350}{0} + \frac{450 + 0}{1\,200} \right]} = 0,0316 E$$

3.1.7.2. Cálculo de corte directo

El corte directo se obtiene de la operación de la rigidez del marco en estudio, dividido entre la sumatoria de rigideces de todo el eje y luego este valor se multiplica por el corte del nivel en estudio, para este caso el corte es de 34 toneladas.

$$V_{di} = \frac{R_{ix}}{\sum R_{ix}} \times V_i$$

$$V_{dx} = \frac{0,0258}{0,129} \times 34 = 6,8$$

$$V_{dy} = \frac{0,0316}{0,1264} \times 34 = 8,5$$

Para este ejemplo el corte directo será el mismo ya que la R_{ix} y R_{iy} tienen el mismo valor en todos los marcos.

3.1.7.3. Cálculo de centro de torsión

El centro de torsión está relacionado con la excentricidad, la cual depende de la geometría del edificio; esta se da cuando el centro de masa de la estructura no coincide con el centro geométrico de la misma. Para calcular la excentricidad, se debe dividir la sumatoria de la columna 4 de las tablas de resumen dentro de la sumatoria de las rigideces de cada eje, columna 2.

$$X_T = \frac{\sum(R_{iy}X_i)}{\sum R_{iy}}$$

$$X_T = \frac{1,032}{0,129} = 8 \text{ m}$$

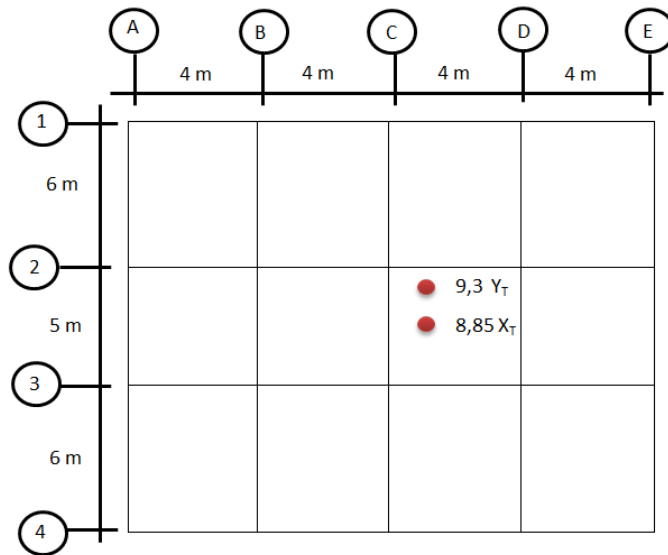
$$Y_T = \frac{1,0744}{0,1264} = 8,5 \text{ m}$$

En este ejemplo el centro de masa coincide con el centro geométrico de la planta, o sea no tiene excentricidad. Según AGIES se debe considerar una excentricidad accidental además de la excentricidad que se obtenga. La excentricidad accidental deberá ser del 5 por ciento de la dimensión perpendicular a las fuerzas consideradas.

$$X_T = 8 + (0,05 \times 17) = 8,85$$

$$Y_T = 8,5 + (0,05 \times 16) = 9,3$$

Figura 54. Centro de torsión eje X y Y



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

$$Y_{iT} = Y_i - Y_T$$

$$Y_{iT} = 0 - 9,8 = -9,8$$

$$Y_{iT} = 4 - 9,3 = -5,3$$

$$Y_{iT} = 8 - 9,3 = -1,3$$

$$Y_{iT} = 12 - 9,3 = 2,7$$

$$Y_{iT} = 16 - 9,3 = 6,7$$

$$X_{iT} = X_i - X_T$$

$$X_{iT} = 17 - 8,85 = 8,15$$

$$X_{iT} = 11 - 8,85 = 2,15$$

$$X_{iT} = 6 - 8,85 = -2,85$$

$$X_{iT} = 0 - 8,85 = -8,85$$

3.1.7.4. Cálculo de cortante por torsión

Para determinar el valor de cortante por torsión, es necesario conocer primero el valor del momento torsor el cual se calcula multiplicando el valor de la excentricidad por el valor del cortante en el nivel de estudio; ya teniendo este dato se puede introducir a la fórmula que se describe a continuación.

$$V_{ix} = \frac{R_{ix} Y_{iT}}{\sum (R_{ix} Y_{iT}^2 + R_{iy} X_{iT}^2)} M_{TX}$$

$$M_{TX} = V_x \times e_y$$

$$M_{TX} = 34 \times 0,85 = 28,9$$

$$M_{TY} = V_y \times e_x$$

$$M_{TY} = 34 \times 0,8 = 27,2$$

$$V_{ix} = \frac{0,0258 \times -9,3}{4,34601 + 4,976684} 28,9 = -0,743805$$

$$V_{iy} = \frac{0,0316 \times 8,15}{4,34601 + 4,976684} 27,2 = 0,751402$$

3.1.7.5. Cálculo de cortante total

El corte total es la capacidad que soporta cada uno de los marcos, tanto en el eje X como en el eje Y; para calcularlo solamente de debe sumar de manera algebraica el corte directo (columna 5 de tabla de resumen) con el cortante por torsión (columna 9 de tabla de resumen).

$$V_{\text{total x}} = V_{\text{dx}} + V_{\text{ix}}$$

$$V_{\text{total x}} = 6,8 + (-0,743805) = 6,056195$$

$$V_{\text{total y}} = 8,5 + (0,751402) = 9,251402$$

3.1.7.6. Resumen

En las siguientes tablas se encuentran calculados todos los datos anteriores para cada uno de los marcos; ya que en los cálculos elaborados para ejemplificación solamente se calcula el dato del marco A en el eje X y los datos del marco 1 en el eje Y.

Tabla XXV. Resumen fuerzas sísmicas eje X

| Eje | R _{ix} | Y _i | R _{ix} Y _i | V _{dx} | Y _{iT} | R _{ix} Y _{iT} | R _{ix} Y _{iT} ² | V _{ix} | V _{total X} |
|-----|-----------------|----------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|--|-----------------|----------------------|
| A | 0,0258 | 0 | 0 | 6,8 | -9,3 | -0,23994 | 2,231442 | -0,743805 | 6,056195 |
| B | 0,0258 | 4 | 0,1032 | 6,8 | -5,3 | -0,13674 | 0,724722 | -0,423889 | 6,376111 |
| C | 0,0258 | 8 | 0,2064 | 6,8 | -1,3 | -0,03354 | 0,043602 | -0,103972 | 6,696028 |
| D | 0,0258 | 12 | 0,3096 | 6,8 | 2,7 | 0,06966 | 0,188082 | 0,215943 | 7,015943 |
| E | 0,0258 | 16 | 0,4128 | 6,8 | 6,7 | 0,17286 | 1,158162 | 0,535859 | 7,335859 |
| | 0,129 | | 1,032 | | | | 4,34601 | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Resumen fuerzas sísmicas eje Y

| Eje | R _{iy} | X _i | R _{iy} X _i | V _{dx} | X _{iT} | R _{iy} X _{iT} | R _{iy} X _{iT} ² | V _{iy} | V _{total y} |
|-----|-----------------|----------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|--|-----------------|----------------------|
| 1 | 0,0316 | 17 | 0,5372 | 8,5 | 8,15 | 0,25754 | 2,098951 | 0,751402 | 9,251402 |
| 2 | 0,0316 | 11 | 0,3476 | 8,5 | 2,15 | 0,06794 | 0,146071 | 0,198222 | 8,698222 |
| 3 | 0,0316 | 6 | 0,1896 | 8,5 | -2,85 | -0,09006 | 0,256671 | -0,262760 | 8,237240 |
| 4 | 0,0316 | 0 | 0 | 8,5 | -8,85 | -0,27966 | 2,474991 | -0,815939 | 7,6684061 |
| | 0,1264 | | 1,0744 | | | | 4,976684 | | |

Fuente: elaboración propia.

3.2. Ejemplo para sistemas tipo cajón (E2)

En el siguiente ejemplo se considerara que la edificación tendrá marcos tipo A; esto quiere decir, que serán de concreto reforzado y de acero estructural.

3.2.1. Datos básicos del ejemplo

A continuación se especifican las dimensiones que llevará la construcción a ejemplificar, la cual estará ubicada en el departamento de Guatemala, Guatemala en una zona donde el tipo de suelo que se clasifica como C.

Uso: bodegas

Zapatas: 1,25 x 1,00 x 0,25

Columnas:

Principales: 0,30 x 0,25

Secundarias: 0,20 x 0,15

Vigas:

Principales: 0,40 x 0,40

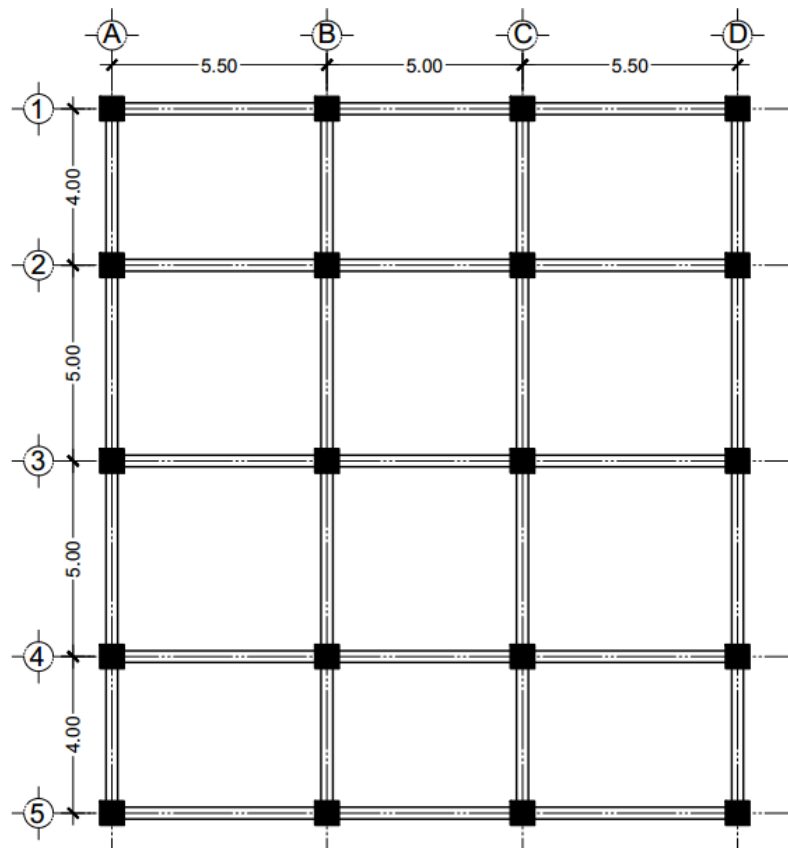
Secundarias: 0,25 x 0,15

Para calcular el peso muerto de la estructura se utilizara un concreto de 3 000 libras sobre pulgada cuadrada con un peso muerto de 2 400 kilogramos sobre metro cúbico.

3.2.1.1. Esquemas planta y elevación

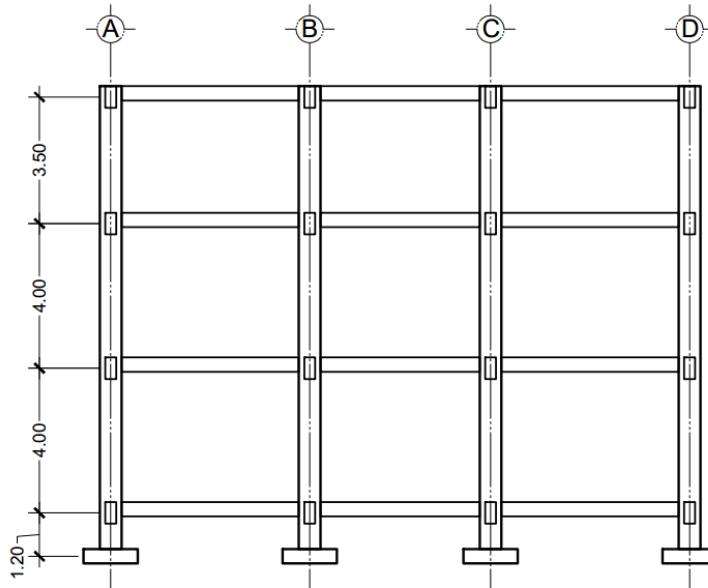
En la planta arquitectónica se observa que sobre el eje X, se cuenta con 3 marcos y sobre el eje Y con 4 marcos, los cuales están distribuidos simétricamente para una mejor resistencia. En el plano de elevación se observa que es una construcción de tres niveles con 4 metros de altura los primeros dos niveles y 3 metros 50 centímetros el nivel superior.

Figura 55. Planta arquitectónica



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

Figura 56. Elevación arquitectónica



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

3.2.2. Cálculo de metros lineales

Para calcular los metros lineales, se suma la longitud de cada uno de los marcos; en este caso en el eje X se tiene $5,5+5+5,5$ lo cual suma 16 y en el eje Y $4+5+5+4$ lo cual suma 18.

$$16+16+16+16+16+18+18+18+18 = 152 \text{ ml}$$

3.2.3. Cálculo de espesor de losa

Para estimar el espesor de losa a utilizar, se divide el perímetro dentro de 180; este cálculo se realiza para cada una de las diferentes dimensiones de losas que se puedan generar debido a la longitud de los marcos.

$$t = \frac{P}{180}$$

Se analizan las dos dimensiones de losas

$$t = \frac{(4 * 2) + (5,5 * 2)}{180} = 0,105 \approx 0,12$$

$$t = \frac{(5 * 2) + (5 * 2)}{180} = 0,11 \approx 0,12$$

$$t = \frac{(5 * 2) + (5,5 * 2)}{180} = 0,116 \approx 0,12$$

3.2.4. Integración de peso estructural

El peso estructural incluye tanto la carga muerta (peso propio de la estructura), como la carga viva (carga variable según uso de la obra) que deberá soportar la estructura.

3.2.4.1. Cálculo de carga muerta

Es la carga permanente debida al peso de todos los elementos constructivos que conforman la estructura, cuya magnitud es constante a lo largo del tiempo. Esta carga se calcula multiplicando las dimensiones de los elementos por el número en el que se repite cada uno de estos y por el peso del concreto por metro cuadrado de construcción.

- Primer nivel

| | | | | | |
|-------------------|---|--------------------------------|---|---------|-------------------|
| Zapatas: | | 1,25 x 1,00 x 0,25 x 8 x 2 400 | = | 6 000 | kg/m ² |
| Cimiento corrido: | | 0,40 x 0,20 x 152 x 2 400 | = | 29 184 | kg/m ² |
| Soleras: | H | 0,20 x 0,15 x 152 x 2 400 | = | 10 944 | kg/m ² |
| | I | 0,10 x 0,15 x 2 x 152 x 2 400 | = | 10 944 | kg/m ² |
| | F | 0,15 x 0,15 x 152 x 2 400 | = | 8 208 | kg/m ² |
| Columnas: | P | 0,30 x 0,25 x 5,2 x 10 x 2 400 | = | 9 360 | kg/m ² |
| | S | 0,20 x 0,15 x 5,2 x 10 x 2 400 | = | 3 744 | kg/m ² |
| Vigas: | P | 0,40 x 0,40 x 80 x 2 400 | = | 30 720 | kg/m ² |
| | S | 0,25 x 0,15 x 72 x 2 400 | = | 6 480 | kg/m ² |
| Muros: | | 152 x 5,2 x 220 | = | 173 888 | kg/m ² |
| Losa: | | 0,12 x 18 x 16 x 2 400 | = | 82 944 | kg/m ² |
| Acabados: | | 152 x 6 x 120 | = | 109 440 | kg/m ² |

Tabla XXVII. **Tabla resumen CM primer nivel**

| Carga Muerta | |
|---------------------|---------------------------------|
| Zapatas | 6 000 |
| Cimiento Corrido | 29 184 |
| Soleras | 30 096 |
| Columnas | 13 104 |
| Vigas | 37 200 |
| Muros | 173 888 |
| Losa | 82 944 |
| Acabados | 109 440 |
| Total | 481 856 kg/m² |

Fuente: elaboración propia.

- Segundo nivel

| | | | | | |
|-----------|---|-------------------------------|---|---------|-------------------|
| Soleras: | I | 0,10 x 0,15 x 2 x 152 x 2 400 | = | 10 944 | kg/m ² |
| | F | 0,15 x 0,15 x 152 x 2 400 | = | 8 208 | kg/m ² |
| Columnas: | P | 0,30 x 0,25 x 4 x 10 x 2 400 | = | 7 200 | kg/m ² |
| | S | 0,20 x 0,15 x 4 x 10 x 2 400 | = | 2 880 | kg/m ² |
| Vigas: | P | 0,40 x 0,40 x 80 x 2 400 | = | 30 720 | kg/m ² |
| | S | 0,25 x 0,15 x 72 x 2 400 | = | 6 480 | kg/m ² |
| Muros: | | 152 x 4 x 220 | = | 133 760 | kg/m ² |
| Losa: | | 0,12 x 18 x 16 x 2 400 | = | 82 944 | kg/m ² |
| Acabados: | | 152 x 3,75 x 120 | = | 68 400 | kg/m ² |

Tabla XXVIII. **Tabla resumen CM segundo nivel**

| Carga Muerta | |
|---------------------|---------------------------------|
| Soleras | 19 152 |
| Columnas | 10 080 |
| Vigas | 37 200 |
| Muros | 133 760 |
| Losa | 82 944 |
| Acabados | 68 400 |
| Total | 351 536 kg/m² |

Fuente: elaboración propia.

- Tercer nivel

| | | | | | |
|-----------|---|--------------------------------|---|--------|-------------------|
| Soleras: | I | 0,10 x 0,15 x 2 x 152 x 2 400 | = | 10 944 | kg/m ² |
| | F | 0,15 x 0,15 x 152 x 2 400 | = | 8 208 | kg/m ² |
| Columnas: | P | 0,30 x 0,25 x 3,5 x 10 x 2 400 | = | 6 300 | kg/m ² |

| | | | | | |
|-----------|---|--------------------------------|---|---------|-------------------|
| | S | 0,20 x 0,15 x 3,5 x 10 x 2 400 | = | 2 520 | kg/m ² |
| Vigas: | P | 0,40 x 0,40 x 80 x 2 400 | = | 30 720 | kg/m ² |
| | S | 0,25 x 0,15 x 72 x 2 400 | = | 6 480 | kg/m ² |
| Muros: | | 152 x 3,5 x 220 | = | 117 040 | kg/m ² |
| Losa: | | 0,12 x 18 x 16 x 2 400 | = | 82 944 | kg/m ² |
| Acabados: | | 152 x 1,75 x 120 | = | 31 920 | kg/m ² |

Tabla XXIX. **Tabla resumen CM tercer nivel**

| Carga Muerta | |
|--------------------------|---------------------------------|
| Soleras | 19 152 |
| Columnas | 8 820 |
| Vigas | 37 200 |
| Muros | 117 040 |
| Losa | 82 944 |
| Acabados e Instalaciones | 31 920 |
| Total | 297 076 kg/m² |

Fuente: elaboración propia.

3.2.4.2. Cálculo de carga viva

Como esta edificación será usada como bodegas, la carga viva a utilizar será de 1 200 kilogramos por metro cúbico. Este dato es tomado de las tablas donde se estima el peso de cargas vivas según el tipo de uso que tendrá la obra; tablas extraídas del AGIES 2010 (ver anexos).

3.2.4.3. Cálculo de peso total

El peso total de la estructura, se estima por medio de la fórmula que a continuación se describe; suma de la carga muerta más el 25 por ciento de la

carga viva. En este ejemplo se calcula el peso de cada nivel, luego se realiza la sumatoria de todos los niveles para obtener el peso total de la construcción.

$$W_s = CM + 25\% CV$$

Donde:

CM = Carga Muerta

CV = Carga Viva

- Primer nivel

$$W_{s1} = 481\ 856 + [0,25 (18 \times 16 \times 1\ 200)] = 568\ 256$$

$$W_{s1} = 568\ 256 \text{ kg/m}^2$$

- Segundo nivel

$$W_{s2} = 351\ 536 + [0,25 (18 \times 16 \times 1\ 200)] = 437\ 936$$

$$W_{s2} = 437\ 936 \text{ kg/m}^2$$

- Tercer nivel

$$W_{s3} = 297\ 076 + [0,25 (18 \times 16 \times 1\ 200)] = 483\ 476$$

$$W_{s3} = 383\ 476 \text{ kg/m}^2$$

Peso total

$$W_s = 568\ 256 + 437\ 936 + 383\ 476 = 1\ 389\ 668$$

$$W_s = 1\ 389\ 668 \text{ kg/m}^2$$

3.2.5. Cálculo de corte basal según método estático equivalente

El cortante basal simula una fuerza de reacción, que se presenta en todos los marcos de la estructura al momento de verse afectada por una carga externa y se distribuye a todo lo alto de la misma. Representa la fuerza equivalente al peso de la estructura por un coeficiente sísmico de diseño.

$$V_B = C_s W_s$$

Donde:

C_s = Coeficiente sísmico de diseño

W_s = Peso total de la edificación

El valor del peso total de la edificación es el valor calculado en el inciso anterior $W_s = 1\,389\,668$ kilogramos sobre metro cuadrado; mientras que para calcular el valor del coeficiente sísmico de diseño debemos empezar por calcular el valor del S_{cs} y S_{1s} .

3.2.5.1. Cálculo de ordenada espectral ajustada

Se empieza calculando el valor de S_{cs} y S_{1s} ; para ello se observan las tablas de listado de amenaza sísmica por municipios, (ver anexos). De allí se obtienen los siguientes datos:

Para Guatemala, Guatemala:

$$I_o = 4$$

$$S_{cr} = 1,65 \text{ g}$$

$$S_{1r} = 0,55 \text{ g}$$

$$S_{cs} = S_{cr} \times F_a$$

El valor de F_a se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla XXX. **Coefficiente de sitio F_a**

| Clase de sitio | Índice de sismicidad | | | | |
|----------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | 2a | 2b | 3a | 3b | 4 |
| AB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| C | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| D | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| E | 1,7 | 1,2 | 1,0 | 0,9 | 0,9 |
| F | Se requiere evaluación específica | | | | |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 15.

Entonces,

$$S_{cs} = 1,50 \times 1,0 = 1,50$$

Cálculo de ordenada espectral ajustada con período de vibración de 1 segundo:

$$S_{1s} = S_{1r} \times F_v$$

El valor de F_v se obtiene de la siguiente tabla:

Tabla XXXI. **Coefficiente de sitio F_v**

| Clase de sitio | Índice de sismicidad | | | | |
|----------------|-----------------------------------|-----|-----|-----|----------------|
| | 2a | 2b | 3a | 3b | 4 |
| AB | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| C | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| D | 2,0 | 1,8 | 1,7 | 1,6 | 1,5 |
| E | 3,2 | 2,8 | 2,6 | 2,4 | 2,4 |
| F | Se requiere evaluación específica | | | | |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 15.

Entonces,

$$S_{1s} = 0,55 \times 1,3 = 0,715$$

3.2.5.2. Cálculo del espectro calibrado al nivel de diseño

Para el cálculo del espectro calibrado, es necesario conocer el tipo de sismo sobre el cual se diseñará y el porcentaje de probabilidad de ocurrencia; con estos datos observamos en la tabla el valor del factor de determinación del nivel de diseño y lo multiplicamos por la ordenada espectral ajustada.

$$S_{cd} = K_d \times S_{cs}$$

$$S_{1d} = K_d \times S_{1s}$$

El valor de K_d dependerá de probabilidad de ocurrencia de los sismos.

Tabla XXXII. **Factor de determinación del nivel de diseño**

| | | |
|------------------------|--|--------------|
| Sismo ordinario | 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años | $K_d = 0,66$ |
| Sismo severo | 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años | $K_d = 0,80$ |
| Sismo extremo | 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años | $K_d = 1,00$ |
| Sismo mínimo | Condición de excepción | $K_d = 0,55$ |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 4. p. 16.

$$S_{cd} = 0,80 \times 1,50 = 1,2$$

$$S_{1d} = 0,80 \times 0,715 = 0,572$$

3.2.5.3. **Cálculo de ordenada espectral para cualquier período de vibración**

El valor de la ordenada espectral, dependerá si el período fundamental es mayor o menor que el período expresado en segundos. El formulario de la parte posterior de la tesis describe paso a paso que se deberá calcularse primero para obtener este valor, (ver anexos).

$$S_a(T) = S_{cd}$$

$$S_a(T) = S_{1d} / T$$

$$S_a(T) = 1,2$$

$$S_a(T) = 0,572 / 0,4233 = 1,3512$$

3.2.5.4. Cálculo de período fundamental

El período fundamental (T), se puede calcular de 3 diferentes maneras; de forma empírica, de forma genérica y de forma analítica. Todas estas serán válidas para ser utilizadas en la fórmula.

- Forma empírica

$$T_a = K_T (h_n)^x$$

Donde:

h_n = altura total del edificio en metros

K_T y x se dan según el sistema estructural a utilizar en la edificación; AGIES 2010

$K_T = 0,049$ $x = 0,75$ para sistemas estructurales E1, E3, E4 o E5

$K_T = 0,047$ $x = 0,90$ Solamente para sistemas estructurales E2 de concreto reforzado que sean abiertos o con fachadas de vidrio o paneles livianos y pocas particiones rígidas.

$K_T = 0,049$ $x = 0,85$ para sistemas E2 de concreto reforzado con fachadas rígidas o que no cumplan con el párrafo anterior.

$K_T = 0,072$ $x = 0,80$ solamente para sistemas E2 de acero que sean abiertos o con fachadas de vidrio o paneles livianos y pocas particiones rígidas.

$K_T = 0,072$ $x = 0,75$ para sistemas E2 de acero rigidizados.

Entonces,

$$T_a = 0,047 (11,5)^{0,90} = 0,4233 \text{ s}$$

$$T = T_a$$

3.2.5.5. Cálculo del período expresando en segundos

El período expresado en segundos que separa los períodos cortos de los largos, se calcula dividiendo la ordenada espectral ajustada con período de vibración de un segundo dentro de la ordenada espectral ajustada en el sitio de interés.

$$T_s = S_{1s} / S_{cs}$$

$$T_s = 0,715 / 1,50 = 0,4767 \text{ s}$$

Luego se realiza la comparación entre T y T_s

$$T = 0,4233 < T_s = 0,4767$$

Tabla XXXIII. Comparación de períodos

| $T \leq T_s$ | $T > T_s$ |
|-----------------------|--------------------------|
| $S_a (T) = S_{cd}$ | $S_a (T) = S_{1d} / T$ |
| $S_{cd} = K_d S_{cs}$ | $S_{1d} = K_d S_{1s}$ |

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar nuestro valor obtenido $T \leq T_s$ entonces se debe utilizar el valor obtenido en la fórmula $S_a (T) = S_{cd}$ que para nuestro ejemplo sería:

$$S_a (T) = S_{cd}$$

$$S_a (T) = 1,2$$

3.2.5.6. Cálculo de coeficiente sísmico

El coeficiente sísmico, es el coeficiente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efectos del sismo; dicho coeficiente se calcula por la división de la ordenada espectral para cualquier período de vibración entre un factor de reducción R.

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R}$$

Donde:

$S_a(T)$: demanda sísmica de diseño

R : factor de reducción

T : Pperíodo fundamental

El valor de R dependerá del sistema estructural y del tipo de material con que se realice la construcción. Valor obtenido de tablas según AGIES, (ver anexos).

Tabla XXXIV. **Coefficiente y factores de diseño de sistemas sismorresistente**

| | SISTEMA ESTRUCTURAL (sección 1.5) | Sistema Constructivo véase Secc 1.5.8 | R | Ω_r | C_d | Límite de altura en metros | | | |
|----|--------------------------------------|---|---|------------|-------|----------------------------|----|----|----|
| | | | | | | Nivel de protección | | | |
| | | | | | | B | C | D | E |
| E2 | SISTEMA DE CAJÓN | | | | | | | | |
| | Con muros estructurales | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado A | NSE 7.1 | 5 | 2,5 | 5 | SL | 75 | 50 | 30 |
| | De concreto reforzado B | NSE 7-1 | 4 | 2,5 | 4 | 50 | 50 | 30 | NP |
| | De concreto reforzado BD | 1.5.8 | 5 | 2,5 | 3 | 30 | 30 | 15 | 12 |
| | De mampostería reforzada A | NSE 7.4 | 4 | 2,5 | 3 | 30 | 30 | 20 | 15 |
| | Paneles de concreto prefabricado | NSE 7.3 | 4 | 3 | 3,5 | 30 | 30 | 15 | 12 |
| | Con paneles de madera | NSE 7.6 | 6 | 3 | 4 | 20 | 20 | 15 | 20 |

Fuente: AGIES NSE 3-10, Capítulo 1. p. 11.

Para este ejemplo se utilizara un valor de $R=5$ ya que un marco E1-B de concreto reforzado.

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R}$$

$$C_s = \frac{1,2(0,4233)}{5} = 0,1015$$

Después se debe verificar lo siguiente:

$$C_s \geq 0,044 S_{cd}$$

$$C_s \geq 0,5 S_{1r} / R$$

$$C_s \geq 0,044 S_{cd}$$

$$0,1144 \geq 0,044 \times 1,2$$

$$0,1144 \geq 0,0528$$

$$C_s \geq 0,5 S_{1r} / R$$

$$0,1144 \geq 0,5 \times 0,55 / 5$$

$$0,1144 \geq 0,055$$

En este ejemplo el valor de C_s cumple ya que es mayor en los dos casos.

3.2.5.7. Cálculo del valor de cortante basal

Con todos los valores obtenidos en los incisos anteriores, se procede a calcular el corte basal, el cual dará un valor en toneladas que se deberá distribuir posteriormente en cada uno de los niveles de la edificación de acuerdo a la fuerza sísmica que soporte cada uno de ellos.

$$V_B = C_s W_s$$

$$V_B = 0,1015 \times 1\,389\,668 = 141\,051,302 \approx 141\,000$$

$$V_B = 141\,000\, T$$

3.2.6. Distribución de fuerzas sísmicas por nivel

La fuerza sísmica va relacionada con la altura y el peso de cada nivel; los niveles superiores soportan mayor fuerza sísmica debido a que la altura desde la base es mayor que la altura de niveles inferiores. Dicha fuerza debe distribuirse a los diversos miembros verticales del sistema sismorresistente para que sean transmitidas a las cimentaciones. En este ejemplo el valor de las

fuerzas en el eje X es igual a las del eje Y debido a la simetría del diseño de la edificación.

$$F_x = C_{vx} V_B$$

Donde:

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)}$$

F_x = es el cortante de cedencia en el nivel x de la edificación

h_x = es la altura del nivel x sobre la base

$k = 1$ para $T \leq 0,5$ s

$k = 0,75 + 0,5 T_s$ para $0,5 < T \leq 2,5$ s

$k = 2$ para $T > 2,5$ s

Para este caso se utilizará $k = 0,75 + 0,5 T_s$ ya que el valor del período es 0,6480; entonces, se encuentra dentro del rango $0,5 < T \leq 2,5$ s

$$k = 0,75 + 0,5 T_s$$

$$k = 0,75 + 0,5 (0,476) = 0,988$$

Tabla XXXV. **Peso y altura por nivel**

| Nivel | W _i | h _i | W _i × h _i | W _i × h _i ^{0,988} |
|-------|----------------|----------------|---------------------------------|--|
| 3 | 383 476 | 11,5 | 4 409 974 | 4 282 601 |
| 2 | 437 936 | 8 | 3 503 488 | 3 417 146 |
| 1 | 568 256 | 4 | 2 273 024 | 2 235 524 |
| | Σ 1 389 668 | | Σ 10 186 486 | Σ 9 935 271 |

Fuente: elaboración propia.

$$C_{vx1} = \frac{(568\,256)(4)^{0,988}}{(9\,935\,271)} = 0,2250$$

$$C_{vx2} = \frac{(437\,936)(8)^{0,988}}{(9\,935\,271)} = 0,3439$$

$$C_{vx3} = \frac{(383\,476)(11,5)^{0,988}}{(9\,935\,271)} = 0,4310$$

Luego se calcula la fuerza por nivel:

$$F_1 = (0,2250) (141) = 32 \text{ T}$$

$$F_2 = (0,3439) (141) = 49 \text{ T}$$

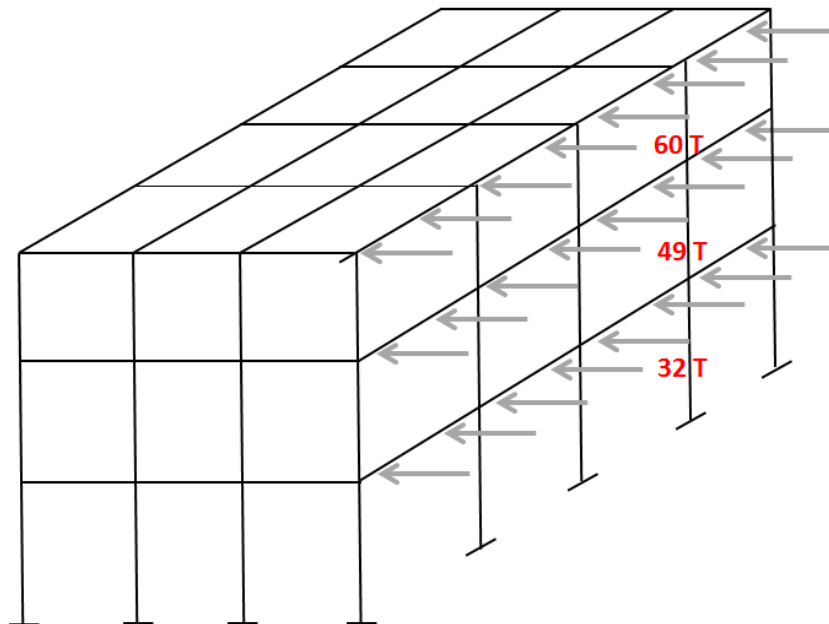
$$F_3 = (0,4310) (141) = 60 \text{ T}$$

Tabla XXXVI. Fuerzas por nivel

| Nivel | W_i | h_i | Dirección X | | Dirección Y | |
|----------------------|---------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | | | F_i | V_i | F_i | V_i |
| 3 | 383 476 | 11,5 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| 2 | 437 936 | 8 | 49 | 109 | 49 | 109 |
| 1 | 568 256 | 4 | 32 | 141 | 32 | 141 |
| $\Sigma 1\ 451\ 876$ | | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

Figura 57. Esquema de fuerzas por nivel



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

3.2.7. Determinación de las fuerzas sísmicas en los diferentes marcos

Para calcular las fuerzas sísmicas que soportará cada uno de los marcos, deberán realizarse varios cálculos como: fuerzas por nivel, rigidez, corte directo, centro de torsión y corte total.

3.2.7.1. Cálculo de rigidez

El cálculo de la rigidez se realizará únicamente en el nivel de estudio y se determina calculando la rigidez de las columnas del nivel de estudio y la rigidez de las vigas tanto en el nivel superior como en el inferior para luego introducirlas en la fórmula descrita abajo. Para este ejemplo se utilizará el segundo nivel como el nivel en estudio.

$$R_i = \frac{48 E}{h_i \left[\frac{4h_i}{\sum k_{ci}} + \frac{h_f+h_s}{\sum k_{vf}} + \frac{h_i+h_f}{\sum k_{vi}} \right]}$$

Donde:

h_i = altura de nivel en estudio

h_f = altura del nivel inferior

h_s = altura del nivel superior

k_{ci} = rigidez de columnas en nivel de estudio

k_{vi} = rigidez de vigas en el nivel de estudio

k_{vf} = rigidez de vigas en el nivel inferior

Eje X:

- Columnas

$$K_{\text{col}} = \frac{I}{L} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L}$$

$$K_{\text{col. principales}} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 25 \times 30^3}{520} = 108 \times 4 = 433$$

$$\sum K_{\text{col}} = 433$$

- Vigas

$$K_{\text{vigas}} = \frac{I}{L} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L}$$

$$K_{\text{vig. principales}} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 40 \times 40^3}{550} = 388 \times 2 = 776$$

$$K_{\text{vig. principales}} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 40 \times 40^3}{500} = 427$$

$$\sum K_{\text{vig}} = 776 + 427 = 1\ 203$$

Eje Y:

- Columnas

$$K_{\text{col}} = \frac{I}{L} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L}$$

$$K_{\text{col. principales}} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 25 \times 30^3}{520} = 108 \times 5 = 540$$

$$\sum K_{\text{col}} = 540$$

- Vigas

$$K_{\text{vigas}} = \frac{I}{L} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L}$$

$$K_{\text{vig. principales}} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 40 \times 40^3}{500} = 427 \times 2 = 854$$

$$K_{\text{vig. principales}} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{L} = \frac{\frac{1}{12} 40 \times 40^3}{400} = 533 \times 2 = 1\,067$$

$$\sum K_{\text{vig}} = 854 + 1\,067 = 1\,921$$

$$R_{ix} = \frac{48E}{400 \left[\frac{4(400)}{433} + \frac{400 + 350}{1203} + \frac{400 + 400}{1203} \right]} = 0,0240 E$$

$$R_{iy} = \frac{48E}{400 \left[\frac{4(400)}{540} + \frac{400 + 350}{1921} + \frac{400 + 400}{1921} \right]} = 0,0318 E$$

3.2.7.2. Cálculo del corte directo

El corte directo, se obtiene de la operación de la rigidez del marco en estudio dividido entre la sumatoria de rigideces de todo el eje y luego este valor se multiplica por el corte del nivel en estudio, para este caso el corte es de 109 toneladas.

$$V_{di} = \frac{R_{ix}}{\sum R_{ix}} \times V_i$$

$$V_{dx} = \frac{0,0240}{0,096} \times 109 = 27,25$$

$$V_{dy} = \frac{0,0318}{0,159} \times 109 = 21,80$$

Para este ejemplo el corte directo será el mismo ya que la R_{ix} y R_{iy} tienen el mismo valor en todos los marcos.

3.2.7.3. Cálculo del centro de torsión

El centro de torsión está relacionado con la excentricidad, la cual depende de la geometría del edificio; esta se da cuando el centro de masa de la estructura no coincide con el centro geométrico de la misma. Para calcular la excentricidad se debe dividir la sumatoria de la columna 4 de las tablas de resumen dentro de la sumatoria de las rigideces de cada eje, columna 2.

$$X_T = \frac{\sum(R_{iy}X_i)}{\sum R_{iy}}$$

$$X_T = \frac{0,768}{0,096} = 8 \text{ m}$$

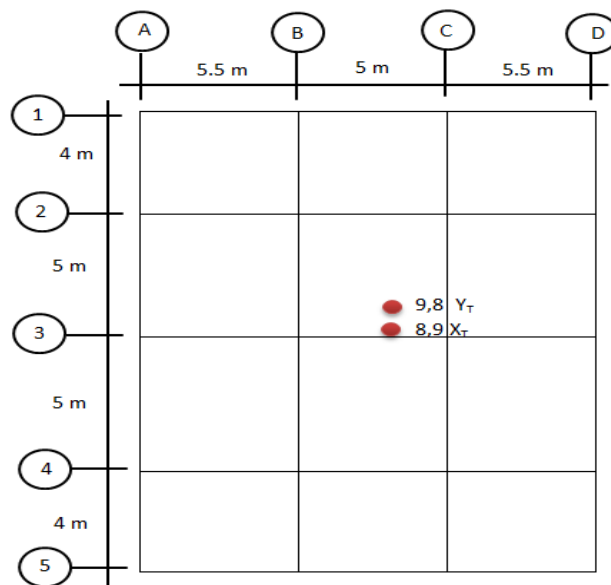
$$Y_T = \frac{1,431}{0,159} = 9 \text{ m}$$

En este ejemplo el centro de masa coincide con el centro geométrico de la planta, o sea no tiene excentricidad. Según AGIES se debe considerar una excentricidad accidental además de la excentricidad que se obtenga. La excentricidad accidental deberá ser del 5 por ciento de la dimensión perpendicular a las fuerzas consideradas.

$$X_T = 8 + (0,05 \times 18) = 8,9$$

$$Y_T = 9 + (0,05 \times 16) = 9,8$$

Figura 58. Centro de torsión eje X y Y



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2010.

$$Y_{iT} = Y_i - Y_T$$

$$Y_{iT} = 0 - 9,8 = -9,8$$

$$Y_{iT} = 5,5 - 9,8 = -4,3$$

$$Y_{iT} = 10,5 - 9,8 = 0,7$$

$$Y_{iT} = 16 - 9,8 = 6,2$$

$$X_{iT} = X_i - X_T$$

$$X_{iT} = 18 - 8,9 = 9,1$$

$$X_{iT} = 14 - 8,9 = 5,1$$

$$X_{iT} = 9 - 8,9 = 0,1$$

$$X_{iT} = 4 - 8,9 = -4,9$$

$$X_{iT} = 0 - 8,9 = -8,9$$

3.2.7.4. Cálculo de cortante por torsión

Para determinar el valor de cortante por torsión, es necesario conocer primero el valor del momento torsor el cual se calcula multiplicando el valor de la excentricidad por el valor del cortante en el nivel de estudio; ya teniendo este dato se puede introducir a la fórmula que se describe a continuación.

$$V_{ix} = \frac{R_{ix} Y_{iT}}{\sum (R_{ix} Y_{iT}^2 + R_{iy} X_{iT}^2)} M_{TX}$$

$$M_{TX} = V_x \times e_y$$

$$M_{TX} = 109 \times 0,8 = 87,2$$

$$M_{TY} = V_y \times e_x$$

$$M_{TY} = 109 \times 0,9 = 98,1$$

$$V_{ix} = \frac{0,0240 \times -9,8}{3,68304 + 6,74319} 87,2 = -1,967100$$

$$V_{iy} = \frac{0,0318 \times 9,1}{3,68304 + 6,74319} 98,1 = 2,722765$$

3.2.7.5. Cálculo de cortante total

El corte total, es la capacidad que soporta cada uno de los marcos tanto en el eje X como en el eje Y; para calcularlo solamente de debe sumar de manera algebraica el corte directo (columna 5 de tabla de resumen) con el cortante por torsión (columna 9 de tabla de resumen).

$$V_{total\ x} = V_{dx} + V_{ix}$$

$$V_{total\ x} = 27,25 + (-1,967100) = 25,28290$$

$$V_{total\ y} = 21,80 + (2,722765) = 24,52276$$

3.2.7.6. Resumen

En las siguientes tablas, se encuentran calculados todos los datos anteriores para cada uno de los marcos; ya que en los cálculos elaborados para ejemplificación solamente se calcula el dato del marco A en el eje X y los datos del marco 1 en el eje Y.

Tabla XXXVII. **Resumen de fuerzas sísmicas eje X**

| Eje | R_{ix} | Y_i | $R_{ix} Y_i$ | V_{dx} | Y_{iT} | $R_{ix} Y_{iT}$ | $R_{ix} Y_{iT}^2$ | V_{ix} | $V_{total X}$ |
|-----|----------|-------|--------------|----------|----------|-----------------|-------------------|-----------|---------------|
| A | 0,0240 | 0 | 0 | 27,25 | -9,8 | -0,2352 | 2,30496 | -1,967100 | 25,28290 |
| B | 0,0240 | 5,5 | 0,132 | 27,25 | -4,3 | -0,1032 | 0,44376 | -0,863115 | 26,38688 |
| C | 0,0240 | 10,5 | 0,252 | 27,25 | 0,7 | 0,0168 | 0,01176 | 0,140507 | 27,10949 |
| D | 0,0240 | 16 | 0,384 | 27,25 | 6,2 | 0,1488 | 0,92256 | 1,244492 | 28,49449 |
| | 0,096 | | 0,768 | | | | 3,68304 | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Resumen de fuerzas sísmicas eje Y**

| Eje | R_{ix} | Y_i | $R_{ix} Y_i$ | V_{dx} | Y_{iT} | $R_{ix} Y_{iT}$ | $R_{ix} Y_{iT}^2$ | V_{ix} | $V_{total X}$ |
|-----|----------|-------|--------------|----------|----------|-----------------|-------------------|-----------|---------------|
| 1 | 0,0318 | 18 | 0,572 | 21,80 | 9,1 | 0,28938 | 2,63335 | 2,722765 | 24,52276 |
| 2 | 0,0318 | 14 | 0,445 | 21,80 | 5,1 | 0,16218 | 0,82711 | 1,525945 | 23,32594 |
| 3 | 0,0318 | 9 | 0,286 | 21,80 | 0,1 | 0,00318 | 0,00031 | 0,029920 | 21,82992 |
| 4 | 0,0318 | 4 | 0,127 | 21,80 | -4,9 | -0,15582 | 0,76351 | -1,466104 | 20,33389 |
| 5 | 0,0318 | 0 | 0 | 21,80 | -8,9 | -0,28302 | 2,51887 | -2,662924 | 19,13707 |
| | 0,159 | | 0,768 | | | | 6,74319 | | |

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Los sismos son movimientos de tierra impredecibles que se generan debido a movimientos tectónicos, volcánicos y artificiales; que se propagan por medio de ondas superficiales e internas y que pueden provocar la destrucción de zonas urbanas poniendo en peligro la vida humana.
2. A través de la investigación y ejemplificación del trabajo realizado se observa la importancia de la aplicación del método estático equivalente, ya que con este se encuentra el valor del cortante basal en la estructura el cual se distribuye en todos los niveles y marcos para una mejor simulación sísmica.
3. La Norma de Seguridad Estructural de Especificaciones y Obras de Infraestructura AGIES edición 2010 es el único código de normas técnicas de diseño estructural que existe en Guatemala, pero es de escasa aplicación por ignorancia de los constructores o negligencia de los sismos.
4. Dado que las construcciones son cada vez más complejas, se requiere el uso de métodos de análisis estructural específicos; uno de los cuales es el de carga sísmica estática equivalente que permite modelar las fuerzas horizontales y verticales que se producen en las edificaciones al momento de verse afectadas por una carga externa (sismo).

5. El método estático equivalente se utiliza únicamente en construcciones de tipo ordinaria y utilitaria de hasta 3 niveles de altura que no presenten irregularidades en planta o elevación.

RECOMENDACIONES

1. Conociendo la vulnerabilidad sísmica del país, se debe obligar a las personas que se dedican al diseño y construcción a conocer y aplicar las normas de seguridad estructural para que las construcciones sean más seguras y así poder evitar pérdidas humanas y materiales al momento de un evento de gran magnitud.
2. Los diseñadores deberán implementar el uso del método estático equivalente para modelar y analizar edificaciones sismorresistentes tomando en cuenta las limitaciones para la aplicación del mismo en cuanto a altura e irregularidades.
3. La Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales y Sísmicos deberá elaborar un documento de fácil comprensión de las normas y divulgarlo por todos los medios posibles.
4. El departamento de las municipalidades encargado de autorizar las licencias de construcción deberá solicitar al constructor los planos arquitectónicos y además los cálculos del diseño estructural para prevenir posibles daños en las edificaciones.
5. Para evitar tragedias como las que actualmente se han dado en el país es necesario que en todas las municipalidades se cree un departamento encargado de la supervisión en obra, para velar el cumplimiento del diseño estructural y así poder garantizar construcciones más seguras.

6. En Guatemala es necesario realizar congresos en donde se reúnan profesionales especializados en el área para revisar y mejorar las normas de seguridad estructural y establecer una base de datos unificada que contenga todos los parámetros necesarios para la realización del diseño estructural, las cuales deberán ser actualizadas a cada cierto tiempo por personas especializadas para beneficio de los guatemaltecos.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMBROSE, James; VERGUN, Dimitri. *Diseño simplificado de edificios para cargas de viento y sismo*. México: Limusa, 2000. 121 p.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 416 p.
3. COSILLO, Alan. *Folleto de Geografía*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2010. 64 p.
4. GOYTA TORREZ, Ivan Richard; y VILLANUEVA INCA, Rolando. *Texto Guía de Ingeniería Antisísmica*. Trabajo de graduación Ingeniería Civil Bolivia: Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología. 2010. 254 p.
5. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Folleto de Sismología*. Guatemala: INSIVUMEH. 2010.15 p.
6. _____. *Informe técnico del evento sísmico del 7 de noviembre San Marcos-Champerico*. Guatemala: INSIVUMEH. 2012. 42 p.
7. MARRERO, Levi. *La tierra y sus recursos*. 20a ed. Venezuela: Publicaciones Cultural, 1976. 395 p.

8. MONZÓN, Héctor. *Altos y Bajos del riesgo Sísmico en Guatemala*. Congreso del Control de la Calidad en la Construcción, (Guatemala, del 4-6 de octubre de 2011).
9. NELI PIRALLA, Roberto. *Diseño Estructural*. 2a ed. México: Limusa, 2001. 596 p.
10. ORTEGA MENÉNDEZ, Joaquín. *Análisis comparativo entre sismo estático y dinámico, para marcos de concreto reforzado*. Trabajo de graduación Ing. Civil Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2011. 90 p.
11. REVILLA, Benedicto. *Guatemala: El terremoto de los pobres*. Guatemala: SEDMAY, 1976. 125 p.
12. STARK, Roberto. *Aspectos relevantes del diseño sísmico en estructuras de concreto*. Seminario Internacional Construcción Sismorresistente, Guatemala: del 20-21 de septiembre de 2010. 35 p.

ANEXOS

Tabla XXXIX. Listado de amenaza sísmica por municipios

| No. | Municipio | Departamento | I _o | S _{cr} | S _{1r} |
|-----|-------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Acatenango | Chimaltenango | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 2 | Agua Blanca | Jutiapa | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 3 | Aguacatán | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 4 | Almolonga | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 5 | Alotenango | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 6 | Amatitlán | Guatemala | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 7 | Antigua Guatemala | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 8 | Asunción Mita | Jutiapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 9 | Atescatempa | Jutiapa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 10 | Ayutla | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 11 | Barberena | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 12 | Cabañas | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 13 | Cabricán | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 14 | Cajola | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 15 | Camotán | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 16 | Canillá | Quiché | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 17 | Cantel | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 18 | Casillas | Santa Rosa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 19 | Catarina | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 20 | Chahal | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 21 | Chajul | Quiché | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 22 | Champerico | Retalhuleu | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 23 | Chiantla | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 24 | Chicacao | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 25 | Chicamán | Quiché | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 26 | Chiché | Quiché | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 27 | Chichicastenango | Quiché | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 28 | Chimaltenango | Chimaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 29 | Chinautla | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 30 | Chinique | Quiché | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 31 | Chiquimula | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 32 | Chiquimulilla | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 33 | Chisec | Alta Verapaz | 3a | 0.90 g | 0.35 g |
| 34 | Chuarrancho | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 35 | Ciudad Vieja | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 36 | Coatepeque | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 37 | Cobán (Norte) | Alta Verapaz | 3a | 0.90 g | 0.35 g |
| | Cobán (Sur) | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 38 | Colomba | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 39 | Colotenango | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |

Continuación de la tabla XXXIX.

| No. | Municipio | Departamento | I _o | S _{cr} | S _{1r} |
|-----|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 40 | Comapa | Jutiapa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 41 | Comitancillo | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 42 | Concepción | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 43 | Concepción Chiquirichapa | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 44 | Concepción Huista | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 45 | Concepción Las Minas | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 46 | Concepción Tutuapa | San Marcos | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 47 | Conguaco | Jutiapa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 48 | Cubulco | Baja Verapaz | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 49 | Cuilapa | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 50 | Cuilco | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 51 | Cunén | Quiché | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 52 | Cuyotenango | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 53 | Dolores | Petén | 2a | 0.50 g | 0.20 g |
| 54 | El Adelanto | Jutiapa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 55 | El Asintal | Retalhuleu | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 56 | El Estor | Izabal | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 57 | El Júcaro | El Progreso | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 58 | El Palmar | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 59 | El Progreso | Jutiapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 60 | El Quetzal | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 61 | El Rodeo | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 62 | El Tejar | Chimaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 63 | El Tumbador | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 64 | Escuintla | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 65 | Esquipulas | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 66 | Esquipulas Palo Gordo | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 67 | Estanzuela | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 68 | Flores | Petén | 2a | 0.50 g | 0.20 g |
| 69 | Flores Costa Cuca | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 70 | Fraijanes | Guatemala | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 71 | Fray Bartolomé de las Casas | Alta Verapaz | 3a | 0.90 g | 0.35 g |
| 72 | Génova | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 73 | Granados | Baja Verapaz | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 74 | Gualán | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 75 | Guanagazapa | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 76 | Guatatoya | El Progreso | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 77 | Guatemala | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 78 | Guazacapán | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 79 | Huehuetenango | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |

Continuación de la tabla XXXIX.

| No. | Municipio | Departamento | I _o | S _{cr} | S _{1r} |
|-----|------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 80 | Huitán | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 81 | Huité | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 82 | Ipala | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 83 | Ixcán | Quiché | 3a | 0.90 g | 0.35 g |
| 84 | Ixchiguan | San Marcos | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 85 | Iztapa | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 86 | Jacaltenango | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 87 | Jalapa | Jalapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 88 | Jalpatagua | Jutiapa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 89 | Jerez | Jutiapa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 90 | Jocotán | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 91 | Jocotenango | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 92 | Joyabaj | Quiché | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 93 | Jutiapa | Jutiapa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 94 | La Democracia | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 95 | La Democracia | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 96 | La Esperanza | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 97 | La Gomera | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 98 | La Libertad | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 99 | La Libertad | Petén | 2a | 0.50 g | 0.20 g |
| 100 | La Reforma | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 101 | La Unión | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 102 | Lanquín | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 103 | Livingston Oriente | Izabal | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| | Livingston Poniente | Izabal | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 104 | Los Amates | Izabal | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 105 | Magdalena Milpas Altas | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 106 | Malacatán | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 107 | Malacatancito | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 108 | Masagua | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 109 | Mataquescuintla | Jalapa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 110 | Mazatenango | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 111 | Melchor de Mencos | Petén | 2a | 0.50 g | 0.20 g |
| 112 | Mixco | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 113 | Momostenango | Totonicapán | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 114 | Monjas | Jalapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 115 | Morales | Izabal | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 116 | Morazán | El Progreso | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 117 | Moyuta | Jutiapa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 118 | Nahualá | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |

Continuación de la tabla XXXIX.

| No. | Municipio | Departamento | I _o | S _{cr} | S _{1r} |
|-----|------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 119 | Nebaj | Quiché | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 120 | Nentón | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 121 | Nueva Concepción | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 122 | Nueva Santa Rosa | Santa Rosa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 123 | Nuevo Progreso | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 124 | Nuevo San Carlos | Retalhuleu | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 125 | Ocós | San Marcos | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 126 | Olintepeque | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 127 | Olopa | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 128 | Oratorio | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 129 | Pachalum | Quiché | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 130 | Pajapita | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 131 | Palencia | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 132 | Palestina de Los Altos | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 133 | Palín | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 134 | Panajachel | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 135 | Panzós | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 136 | Parramos | Chimaltenango | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 137 | Pasaco | Jutiapa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 138 | Pastores | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 139 | Patulul | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 140 | Patzicía | Chimaltenango | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 141 | Patzité | Quiché | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 142 | Patzún | Chimaltenango | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 143 | Pochuta | Chimaltenango | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 144 | Poptún | Petén | 2b | 0.70 g | 0.27 g |
| 145 | Pueblo Nuevo | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 146 | Pueblo Nuevo Viñas | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 147 | Puerto Barrios | Izabal | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 148 | Purulhá | Baja Verapaz | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 149 | Quesada | Jutiapa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 150 | Quetzaltenango | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 151 | Quetzaltepeque | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 152 | Rabinal | Baja Verapaz | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 153 | Raxruhá | Alta Verapaz | 3a | 0.90 g | 0.35 g |
| 154 | Retalhuleu | Retalhuleu | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 155 | Río Blanco | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 156 | Río Bravo | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 157 | Río Hondo | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 158 | Sacapulas | Quiché | 4 | 1.30 g | 0.50 g |

Continuación de la tabla XXXIX.

| No. | Municipio | Departamento | I _o | S _{cr} | S _{1r} |
|-----|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 159 | Salamá | Baja Verapaz | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 160 | Salcajá | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 161 | Samayac | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 162 | San Agustín Acasaguastlán | El Progreso | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 163 | San Andrés | Chimaltenango | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 164 | San Andrés | Petén | 2a | 0.50 g | 0.20 g |
| 165 | San Andrés Sajcabajá | Quiché | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 166 | San Andrés Semetabaj | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 167 | San Andrés Villa Seca | Retalhuleu | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 168 | San Andrés Xecul | Totonicapán | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 169 | San Antonio Aguas Calientes | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 170 | San Antonio Huista | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 171 | San Antonio Ilotenango | Quiché | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 172 | San Antonio La Paz | El Progreso | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 173 | San Antonio Palopó | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 174 | San Antonio Sacatepéquez | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 175 | San Antonio Suchitepéquez | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 176 | San Bartolo | Totonicapán | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 177 | San Bartolomé Jocotenango | Quiché | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 178 | San Bartolomé Milpas Altas | Sacatepéquez | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 179 | San Benito | Petén | 2a | 0.50 g | 0.20 g |
| 180 | San Bernardino | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 181 | San Carlos Alzatate | Jalapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 182 | San Carlos Sija | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 183 | San Cristóbal Acasaguastlán | El Progreso | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 184 | San Cristóbal Cucho | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 185 | San Cristóbal Totonicapán | Totonicapán | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 186 | San Cristóbal Verapaz | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 187 | San Diego | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 188 | San Felipe | Retalhuleu | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 189 | San Francisco | Petén | 2a | 0.50 g | 0.20 g |
| 190 | San Francisco El Alto | Totonicapán | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 191 | San Francisco La Unión | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 192 | San Francisco Zapotitlán | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 193 | San Gabriel | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 194 | San Gaspar Ixchil | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 195 | San Ildefonso Ixtahuacán | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 196 | San Jacinto | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 197 | San Jerónimo | Baja Verapaz | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 198 | San José (Escuintla) | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |

Continuación de la tabla XXXIX.

| No. | Municipio | Departamento | I _o | S _{cr} | S _{1r} |
|-----|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 199 | San José (Petén) | Petén | 2a | 0.50 g | 0.20 g |
| 200 | San José Acatempa | Jutiapa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 201 | San José Chacayá | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 202 | San José del Golfo | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 203 | San José El Idolo | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 204 | San José La Arada | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 205 | San José Ojetenam | San Marcos | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 206 | San José Pinula | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 207 | San José Poaquil | Chimaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 208 | San Juan Atitán | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 209 | San Juan Bautista | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 210 | San Juan Chamelco | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 211 | San Juan Comalapa | Chimaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 212 | San Juan Cotzal | Quiché | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 213 | San Juan Ermita | Chiquimula | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 214 | San Juan Ixcoy | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 215 | San Juan La Laguna | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 216 | San Juan Ostuncalco | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 217 | San Juan Sacatepéquez | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 218 | San Juan Tecuaco | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 219 | San Lorenzo | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 220 | San Lorenzo | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 221 | San Lucas Sacatepéquez | Sacatepéquez | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 222 | San Lucas Tolimán | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 223 | San Luis | Petén | 3a | 0.90 g | 0.35 g |
| 224 | San Luis Jilotepeque | Jalapa | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 225 | San Manuel Chaparrón | Jalapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 226 | San Marcos | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 227 | San Marcos La Laguna | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 228 | San Martín Jilotepeque | Chimaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 229 | San Martín Sacatepéquez | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 230 | San Martín Zapotitlán | Retalhuleu | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 231 | San Mateo Ixtatán | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 232 | San Mateo Ixtatán | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 233 | San Miguel Acatán | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 234 | San Miguel Chicaj | Baja Verapaz | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 235 | San Miguel Dueñas | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 236 | San Miguel Ixtahuacán | San Marcos | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 237 | San Miguel Panán | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 238 | San Miguel Petapa | Guatemala | 4 | 1.65 g | 0.60 g |

Continuación de la tabla XXXIX.

| No. | Municipio | Departamento | I _o | S _{cr} | S _{1r} |
|-----|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 239 | San Miguel Sigüilá | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 240 | San Pablo | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 241 | San Pablo Jocopilas | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 242 | San Pablo La Laguna | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 243 | San Pedro Ayampuc | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 244 | San Pedro Carchá | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 245 | San Pedro Jocopilas | Quiché | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 246 | San Pedro La Laguna | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 247 | San Pedro Necta | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 248 | San Pedro Pinula | Jalapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 249 | San Pedro Sacatepéquez | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 250 | San Pedro Sacatepéquez | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 251 | San Pedro Soloma | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 252 | San Rafael La Independencia | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 253 | San Rafael Las Flores | Santa Rosa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 254 | San Rafael Petzal | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 255 | San Rafael Pie de la Cuesta | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 256 | San Raymundo | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 257 | San Sebastián | Retalhuleu | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 258 | San Sebastián Coatán | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 259 | San Sebastián Huehuetenango | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 260 | San Vicente Pacaya | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 261 | Sanarate | El Progreso | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 262 | Sansare | El Progreso | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 263 | Santa Ana | Petén | 2a | 0.50 g | 0.20 g |
| 264 | Santa Ana Huista | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 265 | Santa Apolonia | Chimaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 266 | Santa Bárbara | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 267 | Santa Bárbara | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 268 | Santa Catalina La Tinta | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 269 | Santa Catarina Barahona | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 270 | Santa Catarina Ixtahuacán | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 271 | Santa Catarina Mita | Jutiapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 272 | Santa Catarina Palopó | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 273 | Santa Catarina Pinula | Guatemala | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 274 | Santa Clara La Laguna | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 275 | Santa Cruz Balanyá | Chimaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 276 | Santa Cruz Barillas | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 277 | Santa Cruz del Quiché | Quiché | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 278 | Santa Cruz el Chol | Baja Verapaz | 4 | 1.30 g | 0.50 g |

Continuación de la tabla XXXIX.

| No. | Municipio | Departamento | I _o | S _{cr} | S _{1r} |
|-----|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 279 | Santa Cruz La Laguna | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 280 | Santa Cruz Muluá | Retalhuleu | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 281 | Santa Cruz Naranjo | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 282 | Santa Cruz Verapaz | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 283 | Santa Eulalia | Huehuetenango | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 284 | Santa Lucía Cotzumalguapa | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 285 | Santa Lucía La Reforma | Totonicapán | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 286 | Santa Lucía Milpas Altas | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 287 | Santa Lucía Utatlán | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 288 | Santa María Cahabón | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 289 | Santa María Chiquimula | Totonicapán | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 290 | Santa María de Jesús | Sacatepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 291 | Santa María Ixhuatán | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 292 | Santa María Visitación | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 293 | Santa Rosa de Lima | Santa Rosa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 294 | Santiago Atitlán | Atitlán | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 295 | Santiago Chimaltenango | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 296 | Santiago Sacatepéquez | Sacatepéquez | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 297 | Santo Domingo Suchitepéquez | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 298 | Santo Domingo Xenacoj | Sacatepéquez | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 299 | Santo Tomás La Unión | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 300 | Sayaxché | Petén | 2b | 0.70 g | 0.27 g |
| 301 | Senahú | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 302 | Sibilia | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 303 | Sibinal | San Marcos | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 304 | Sipacapa | San Marcos | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 305 | Siquinalá | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 306 | Sololá | Sololá | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 307 | Sumpango | Sacatepéquez | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 308 | Tacaná | San Marcos | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 309 | Tactic | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 310 | Tajumulco | San Marcos | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 311 | Tamahú | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 312 | Taxisco | Santa Rosa | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 313 | Tecpán Guatemala | Chimaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 314 | Tectitán | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 315 | Teculután | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 316 | Tejutla | San Marcos | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 317 | Tiquisate | Escuintla | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 318 | Todos Santos Cuchumatanes | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |

Continuación de la tabla XXXIX.

| No. | Municipio | Departamento | I _o | S _{cr} | S _{1r} |
|-----|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 319 | Totonicapán | Totonicapán | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 320 | Tucurú | Alta Verapaz | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 321 | Unión Cantinil | Huehuetenango | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 322 | Uspantán | Quiché | 3b | 1.10 g | 0.43 g |
| 323 | Usumatlán | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 324 | Villa Canales | Guatemala | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 325 | Villa Nueva | Guatemala | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 326 | Yepocapa | Chimaltenango | 4 | 1.65 g | 0.60 g |
| 327 | Yupiltepeque | Jutiapa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 328 | Zacapa | Zacapa | 4 | 1.30 g | 0.50 g |
| 329 | Zacualpa | Quiché | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 330 | Zapotitlán | Jutiapa | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 331 | Zaragoza | Chimaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 332 | Zunil | Quetzaltenango | 4 | 1.50 g | 0.55 g |
| 333 | Zunilito | Suchitepéquez | 4 | 1.65 g | 0.60 g |

Fuente: AGIES NSE 2-10, Anexo A. p. 55.

Medidas de precaución antes, durante y después de un sismo

Antes:

- Ubicar una ruta de evacuación.
- Eliminar obstáculos de las rutas de evacuación.
- Crear un plan de protección y seguridad.
- Ubicar y señalizar las zonas de seguridad.
- Tener a la mano los números de teléfono de emergencias; bomberos, hospitales, policía, et.
- Conocimiento básico de primeros auxilios.
- Tener un botiquín.
- Asegurar estanterías, librerías, roperos o cualquier objeto que pueda caerse.
- Conocer donde están ubicadas las llaves de gas, agua y flipón eléctrico.
- Realizar simulacros de evacuación.
- Designe un punto de reunión en caso la familia llegara a separarse.

- Póngase de acuerdo en que sobre qué hará cada miembro de la familia o compañero de trabajo en caso de un sismo.
- Localice lugares seguros en la casa y en su lugar de trabajo: bajo mesas u escritorios sólidos, marcos de puertas, etc. Haga que cada miembro de la familia elija un lugar donde protegerse.
- En lugares públicos donde haya mucha gente (cine, teatro, estadio, salón de clases): no grite, no corra, no empuje, salga serenamente; en caso contrario permanezca en su propio asiento, colocando los brazos sobre la cabeza y bajándola hacia las rodillas.

Durante:

Lo importante al momento de un sismo es conservar la calma, ya que la mayoría de personas se lastima al salir corriendo con objetos que caen, con vidrios quebrados o por aglomeraciones de personas en escaleras.

- Se debe conservar la calma y evitando caer en pánico.
- Ubicarse en lugares seguros previamente establecidos.
- Colocarse en el piso con las rodillas juntas y la espalda hacia las ventanas.
- Sujetar ambas manos en la parte de atrás de la cabeza.
- Esconder el rostro entre los brazos y cerrar los ojos.

- Si es necesario evacuar el lugar, utilizar escaleras no elevadores.
- Si está en la calle alejarse de cables de tendido eléctrico, postes, transformadores eléctricos, rótulos, árboles y de cualquier otro objeto que se pudiera caer.
- Si va en vehículo o autobús, el conductor debe reducir velocidad y detenerse en un lugar seguro.
- Obedezca las indicaciones de personal de vigilancia.
- Alejarse de ventanas, espejos y artículos de vidrio que puedan quebrarse.
- Evite estar bajo objetos colgantes.
- Manténgase retirado de libreros, gabinetes, roperos, estanterías y muebles que pudieran dejar caer su contenido.
- Si estuviera dormido, al despertar tómese unos segundos para razonar.
- Encienda el radio (portátil) para mantenerse informado y recibir orientación.

Después:

- Observar si alguien está herido y practicar primeros auxilios.

- No mueva a las personas que están lesionadas gravemente, al menos que haya peligro inmediato que provoque más lesiones.
- Cubra a las personas lesionadas con una cobija o ropa adicional para que su cuerpo mantenga una temperatura normal.
- Dirigirse a zonas de protección ya establecidas.
- No tocar cables de energía eléctrica que han caído.
- Alejarse de vidrios quebrados.
- Cerrar las llaves de gas para evitar fugas y usarlo nuevamente hasta que se haya realizado la inspección adecuada.
- No regresar a las áreas dañadas sin previa autorización.
- Utilice el teléfono solo para llamadas urgentes.
- Sintonizar la radio para conocer las medidas de emergencia.
- Obedezca las indicaciones de las autoridades o brigadas de auxilio.
- En caso de haber quedado atrapado, conserve la calma y trata de hacer ruido golpeando con algún objeto o gritando.
- No utilice ascensores, porque puede producirse una réplica.

- Sea cauteloso porque hay estructuras que pueden quedar muy dañadas y estar propensas a caerse.
- Realice una inspección cuidadosa de los daños, si son muy graves evacue el lugar.
- No encienda cerillos, velas o estufa, hasta que este seguro que no hay fugas de gas.
- Si hay incendios llame a los bomberos.
- No consuma alimentos y bebidas que hayan estado en contacto con vidrios rotos, escombros o polvo.
- Al momento de abrir estanterías o roperos, hacerlo cuidadosamente ya que los objetos dentro pudieron haberse movido de lugar y caer encima.

Tabla XL. Cargas vivas

| Tipo de ocupación o uso | Wv (kg/m ²) | Pv (kg) |
|--|-------------------------|------------|
| Vivienda | | |
| Balcones | 500 | |
| Habitaciones y pasillos | 200 | |
| Escaleras | 300 | |
| Oficina | | |
| Pasillos y escaleras | 300 | |
| Oficinas | 250 | 800 |
| Áreas de cafetería | 500 | |
| Hospitales | | |
| Pasillos | 500 | 450 |
| Clínicas y encamamiento | 250 | |
| Servicios médicos y laboratorio | 350 | 800 |
| Farmacia | 500 | |
| Escaleras | 500 | |
| Cafetería y cocina | 500 | |
| Hoteles | | |
| Habitaciones | 200 | 450 |
| Servicios y áreas públicas | 500 | 800 |
| Educativos | | |
| Aulas | 200 | 400 |
| Pasillos y escaleras | 500 | |
| Salones de Lectura de Biblioteca | 200 | 400 |
| Área de estanterías de Biblioteca | 700 | 800 |
| Reunión | | |
| Escaleras privadas | 300 | Ver 3.3(d) |
| Escaleras públicas | 500 | Ver 3.3(d) |
| Balcones | 500 | |
| Vestibulos públicos | 500 | |
| Plazas a nivel de la calle | 500 | 800 |
| Salones con asiento fijo | 300 | |
| Salones sin asiento fijo | 500 | 800 |
| Escenarios y circulaciones | 500 | |
| Garajes | | |
| Garajes para automóviles de pasajeros | 250 | Ver 3.3(c) |
| Garajes para vehículos de carga (2,000 Kg) | 500 | Ver 3.3(c) |
| Rampas de uso colectivo | 750 | Ver 3.3(c) |
| Corredores de circulación | 500 | Ver 3.3(c) |
| Servicio y reparación | 500 | Ver 3.3(c) |

Continuación de la tabla XL.

| Tipo de ocupación o uso | Wv (kg/m ²) | Pv (kg) |
|---|-------------------------|---------|
| Instalaciones deportivas públicas | | |
| Zonas de circulación | 500 | |
| Zonas de asientos | 400 | |
| Zonas sin asientos | 800 | |
| Canchas deportivas | ver nota ^(a) | |
| Almacenes | | |
| Minoristas | 500 | 800 |
| Mayoristas | 600 | 1,200 |
| Bodegas | | |
| Cargas livianas | 600 | 800 |
| Cargas pesadas | 1,200 | 1,200 |
| Fábricas | | |
| Industrias livianas | 500 | 800 |
| Industrias pesadas | 1,000 | 1,200 |
| Cubiertas pesadas (inciso 3.3 (f)) | | |
| Azoteas de concreto con acceso | 200 | |
| Azoteas sin acceso horizontal o inclinadas | 100 | |
| Azoteas con inclinación mayor de 20° | 75 ^(b) | |
| Cubiertas usadas para jardín o para reuniones | 500 | |
| Cubiertas livianas (inciso 3.3 (g)) | | |
| Techos de láminas, tejas, cubiertas plásticas, lonas, etc (aplica a la estructura que soporta la cubierta final) | 50 ^(b) | |

Nota: (a) carga depende del tipo de cancha
(b) sobre proyección horizontal

Fuente: AGIES NSE 2-10, Capítulo 3. p. 6.

Tabla XLI. **Coeficiente y factores para diseño de sistemas sismorresistentes**

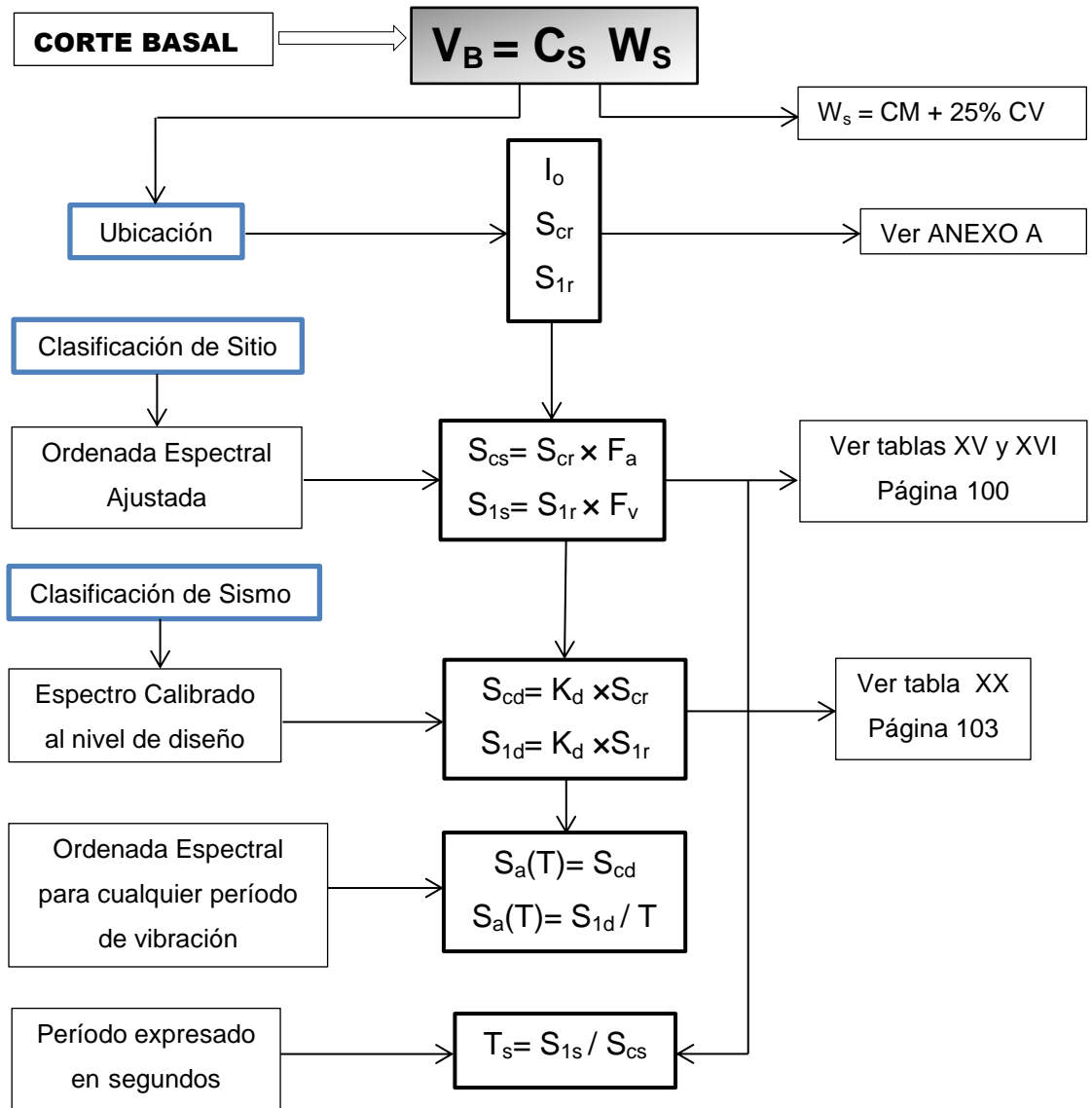
| | SISTEMA ESTRUCTURAL (sección 1.5) | Norma | R | Ω_r | C_d | Límite de altura en metros | | | |
|-------------|--------------------------------------|---------|-----|------------|-------|----------------------------|----|----|----|
| | | | | | | Nivel de Protección | | | |
| | | | | | | B | C | D | E |
| E1 | SISTEMA DE MARCOS | | | | | | | | |
| E1-A | Marcos tipo A | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado | NSE 7.1 | 8 | 3 | 5.5 | SL | SL | SL | SL |
| | De acero estructural | NSE 7.5 | 8 | 3 | 5.5 | SL | SL | SL | SL |
| E1-B | marcos tipo B | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado | NSE 7.1 | 5 | 3 | 4.5 | 55 | 33 | 12 | NP |
| | De acero estructural | NSE 7.5 | 4.5 | 3 | 4 | 55 | 33 | 12 | NP |
| E2 | SISTEMA DE CAJON | | | | | | | | |
| | Con muros estructurales | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado A | NSE 7.1 | 5 | 2.5 | 5 | SL | 75 | 55 | 33 |
| | De concreto reforzado B | NSE 7.1 | 4 | 2.5 | 4 | SL | 55 | 33 | NP |
| | De mampostería reforzada A | NSE 7.4 | 5 | 2.5 | 3.5 | SL | SL | 55 | 33 |
| | Paneles de Concreto prefabricado | NSE 7.3 | 4 | 3 | 3.5 | SL | 33 | 12 | 12 |
| | Con paneles de madera | NSE 7.7 | 6 | 3 | 4 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| E3 | SISTEMA GENERAL | | | | | | | | |
| | Con muros estructurales | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado A | NSE 7.1 | 6 | 2.5 | 5 | SL | 75 | 55 | 55 |
| | De concreto reforzado B | NSE 7.1 | 5 | 2.5 | 4 | SL | 55 | 33 | NP |
| | De mampostería reforzada A | NSE 7.4 | 5.5 | 3 | 3.5 | SL | SL | 55 | 55 |
| | Paneles de concreto prefabricado | NSE 7.3 | 4.5 | 3 | 3.5 | SL | 33 | 33 | 20 |
| | Marcos de acero arriostrado | | | | | | | | |
| | Tipo A con riostras excéntricas | NSE 7.5 | 8 | 2 | 4 | SL | 75 | 55 | 33 |
| | Tipo A con riostras concéntricas | NSE 7.5 | 6 | 2 | 5 | SL | 55 | 33 | 20 |
| | Tipo B con riostras concéntricas | NSE 7.5 | 3.5 | 2 | 3.5 | SL | 12 | 12 | NP |

Continuación de la tabla XLI.

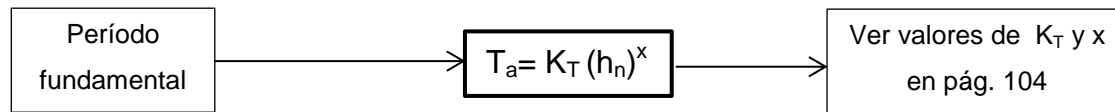
| | SISTEMA ESTRUCTURAL (sección 1.5) | Norma | R | Ω_r | C_d | Límite de altura en metros | | | |
|----|---|---------|-----|------------|-------|----------------------------|----|----|----|
| | | | | | | Nivel de Protección | | | |
| | | | | | | B | C | D | E |
| E4 | SISTEMA DUAL | | | | | | | | |
| | Marcos de concreto reforzado A Con muros estructurales | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado A | NSE 7.1 | 7 | 2.5 | 5.5 | SL | SL | SL | SL |
| | De mampostería reforzada A | NSE 7.4 | 5.5 | 3 | 5 | SL | SL | SL | SL |
| | Marcos de acero tipo A con riostras excéntricas con riostras concéntricas especiales | | | | | | | | |
| | | NSE 7.5 | 8 | 2.5 | 4 | SL | SL | SL | SL |
| | | NSE 7.5 | 7 | 2.5 | 5.5 | SL | SL | SL | SL |
| | Marcos de concreto reforzado B Con muros estructurales: De concreto reforzado A | NSE 7.1 | 6.5 | 2.5 | 5 | SL | SL | 55 | 33 |
| E5 | COLUMNAS VOLADIZAS o PÉNDULO INVERTIDO | | | | | | | | |
| | De concreto reforzado Confinado | NSE 7.1 | 2.5 | 1.2 | 2.5 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| | De estructura de acero Con detalles sísmicos | NSE 7.5 | 2.5 | 1.2 | 2.5 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| | De estructura de madera | NSE 7.7 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| E6 | OTRO TIPO Clasificar como E5, o bien, consultar exclusiones en NSE 3.1, NSE 4, NSE 5 o NSE 6. | | | | | | | | |

Fuente: AGIES NSE 3-10, Capítulo 1. p.11.

Figura 59. **Formulario para el cálculo del corte basal según método estático equivalente**

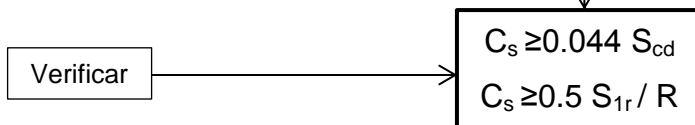
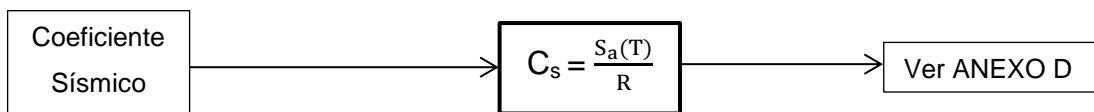


Continuación de la figura 59.



Comparar →

| $T \leq T_s$ | $T > T_s$ |
|-----------------------|-----------------------|
| $S_a(T) = S_{cd}$ | $S_a(T) = S_{1d} / T$ |
| $S_{cd} = K_d S_{cs}$ | $S_{1d} = K_d S_{1s}$ |



Con todos los valores obtenidos se procede a calcular el Corte Basal

Donde:

C_s = Coeficiente Sísmico de diseño

W_s = Peso total de la Estructura

Fuente: elaboración propia