

# **NSR-98**

## **Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente**

### **Título A**

## **Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente**







A.2.1.1- MOVIMIENTOS SISMICOS PRESCRITOS .....	A-11
A.2.1.2- EFECTOS LOCALES DIFERENTES .....	A-11
A.2.1.3- MOVIMIENTOS SISMICOS DIFERENTES .....	A-11
A.2.2- MOVIMIENTOS SISMICOS DE DISEÑO .....	A-12
A.2.3- ZONAS DE AMENAZA SISMICA .....	A-12
A.2.3.1 - ZONA DE AMENAZA SISMICA BAJA .....	A-12
A.2.3.2 - ZONA DE AMENAZA SISMICA INTERMEDIA .....	A-12
A.2.3.3 - ZONA DE AMENAZA SISMICA ALTA .....	A-12
TABLA A.2-1 - VALOR DE $A_a$ Y NIVEL DE AMENAZA SISMICA SEGUN LA REGION DEL MAPA DE LA FIGURA A.2-2.....	A-12
TABLA A.2-2 - VALOR DE $A_a$ PARA LAS CIUDADES CAPITALES DE DEPARTAMENTO .....	A-12
A.2.4 - EFECTOS LOCALES .....	A-13
A.2.4.1 - TIPOS DE PERFIL DE SUELO .....	A-13
A.2.4.1.1 - Perfil de suelo $S_1$ .....	A-13
Figura A.2-3(a) - Perfil $S_1$ .....	A-13
A.2.4.1.2 - Perfil de suelo $S_2$ .....	A-14
Figura A.2-3(b) - Perfil $S_2$ .....	A-14
A.2.4.1.3 - Perfil de suelo $S_3$ .....	A-14
Figura A.2-3(c) - Perfil $S_3$ .....	A-14
Figura A.2-3(d) - Perfil $S_4$ .....	A-14
A.2.4.1.5 - Procedimiento alterno .....	A-15
A.2.4.1.6 - Estabilidad del depósito de suelo .....	A-15
A.2.4.1.7 - Perfiles provenientes de estudios de microzonificación .....	A-15
A.2.4.2 - COEFICIENTE DE SITIO .....	A-15
TABLA A.2-3 - VALORES DEL COEFICIENTE DE SITIO, $S$ .....	A-15
A.2.5 - COEFICIENTE DE IMPORTANCIA .....	A-15
A.2.5.1 - GRUPOS DE USO .....	A-15
A.2.5.1.1 - Grupo <b>IV</b> - Edificaciones indispensables .....	A-15
A.2.5.1.2 - Grupo <b>III</b> - Edificaciones de atención a la comunidad .....	A-15
A.2.5.1.3 - Grupo <b>II</b> - Estructuras de ocupación especial .....	A-16
A.2.5.1.4 - Grupo <b>I</b> - Estructuras de ocupación normal .....	A-16
A.2.5.2 - COEFICIENTE DE IMPORTANCIA .....	A-16
TABLA A.2-4 - VALORES DEL COEFICIENTE DE IMPORTANCIA, <b>I</b> .....	A-16
A.2.6 - ESPECTRO DE DISEÑO.....	A-16
Figura A.2-4 - Espectro Elástico de Diseño.....	A-17
A.2.7 - FAMILIAS DE ACELEROGRAMAS.....	A-17
A.2.8 - COMPONENTE VERTICAL DE LOS MOVIMIENTOS SÍSMICOS .....	A-17
A.2.9 - ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION .....	A-17
A.2.9.4 - EMPLEO DEL COEFICIENTE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA, <b>R</b> .....	A-18
Figura A.2-5 - Variación del coeficiente de disipación de energía <b>R</b> .....	A-19
Figura A.2-1 - ZONAS DE AMENAZA SISMICA .....	A-20
Figura A.2-2 - MAPA DE VALORES DE $A_a$ .....	A-21
<b>CAPITULO A.3 - REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO SISMO RESISTENTE.....</b>	<b>A-23</b>
A.3.0 – NOMENCLATURA .....	A-23
A.3.1 - BASES GENERALES DE DISEÑO SISMO RESISTENTE .....	A-23
A.3.1.1 - PROCEDIMIENTO DE DISEÑO .....	A-23
A.3.1.2 - CARACTERISTICAS DE LA ESTRUCTURACION .....	A-24
A.3.1.3 - CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA MINIMA REQUERIDA .....	A-24
A.3.1.4 - RESISTENCIA SISMICA EN LAS DIFERENTES DIRECCIONES HORIZONTALES .....	A-24
A.3.1.5 - TRAYECTORIA DE LAS FUERZAS .....	A-24
A.3.1.6 - SISTEMAS DE RESISTENCIA SISMICA ISOSTATICOS .....	A-24
A.3.1.7 - SISTEMAS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA SISMICA PREFABRICADOS .....	A-24
A.3.1.8 - MATERIALES ESTRUCTURALES DISEÑADOS USANDO EL METODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO .....	A-24
A.3.2 - SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	A-24
A.3.2.1 - TIPOS DE SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	A-24
A.3.2.1.1 - Sistema de muros de carga .....	A-24
A.3.2.1.2 - Sistema combinado .....	A-25
A.3.2.1.3 - Sistema de pórtico .....	A-25
A.3.2.1.4 - Sistema dual .....	A-25
A.3.2.2 - CLASIFICACION EN UNO DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	A-25
A.3.2.3 - LIMITES DE ALTURA PARA LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	A-25
A.3.2.4 - COMBINACION DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ALTURA .....	A-25
A.3.2.4.1 - Mínimo valor de <b>R</b> .....	A-25
A.3.2.4.2 - Pisos livianos .....	A-25
A.3.2.4.3 - Estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez .....	A-25
A.3.2.4.4 - Estructura rígida apoyada sobre una estructura con menor rigidez .....	A-25
A.3.2.5 - COMBINACION DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN PLANTA .....	A-26
A.3.2.6 - ELEMENTOS COMUNES A VARIOS SISTEMAS ESTRUCTURALES .....	A-26
A.3.3 - CONFIGURACION ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACION .....	A-26
A.3.3.1 - GENERAL .....	A-26
A.3.3.2 - DEFINICION DE LA CONFIGURACION ESTRUCTURAL .....	A-26
A.3.3.3 - REDUCCION DEL VALOR DE <b>R</b> PARA ESTRUCTURAS IRREGULARES .....	A-26
A.3.3.4 - CONFIGURACION EN PLANTA .....	A-26
A.3.3.5 - CONFIGURACION EN LA ALTURA .....	A-26
A.3.3.5.1 - Excepciones a las irregularidades en altura .....	A-26

A.3.3.6 - EDIFICACIONES EN ZONAS DE AMENAZA SISMICA BAJA DE LOS GRUPOS DE USO I Y II .....	A-26
A.3.3.7 - EDIFICACIONES EN ZONAS DE AMENAZA SISMICA INTERMEDIA DEL GRUPO DE USO I .....	A-27
A.3.4 - METODOS DE ANALISIS .....	A-27
A.3.4.1 - METODOS RECONOCIDOS .....	A-27
A.3.4.2 - METODO DE ANALISIS A UTILIZAR .....	A-27
A.3.4.2.1 - Método de la fuerza horizontal equivalente .....	A-27
A.3.4.2.2 - Método del análisis dinámico elástico .....	A-27
A.3.4.2.3 - Método del análisis dinámico inelástico .....	A-27
A.3.4.3 - RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA Y SUS ELEMENTOS .....	A-27
A.3.5 - REQUISITOS PARA LOS MATERIALES ESTRUCTURALES .....	A-28
A.3.6 - EFECTOS SISMICOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	A-28
A.3.6.1 - GENERALIDADES .....	A-28
A.3.6.1.1 - Elementos del sistema de resistencia sísmica .....	A-28
A.3.6.1.2 - Elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica .....	A-28
A.3.6.2 - COMBINACION DE LOS EFECTOS DE CARGA .....	A-28
A.3.6.3 - DIRECCION DE APLICACION DE LAS FUERZAS SISMICAS .....	A-28
A.3.6.3.1 - Casos en los cuales hay que tener en cuenta los efectos ortogonales .....	A-28
A.3.6.3.2 - Efectos ortogonales .....	A-28
A.3.6.4 - AMARRES Y CONTINUIDAD .....	A-28
A.3.6.4.1 - Partes de la edificación .....	A-28
A.3.6.4.2 - Vigas de amarre en la cimentación .....	A-29
A.3.6.5 - ELEMENTOS COLECTORES .....	A-29
A.3.6.6 - DISTRIBUCION DE LA FUERZA CORTANTE EN EL PISO .....	A-29
A.3.6.7 - TORSION EN EL PISO .....	A-29
A.3.6.7.1 - Torsión accidental .....	A-29
A.3.6.7.2 - Torsión debida a la no coincidencia del centro de masa y de rigidez .....	A-29
A.3.6.7.3 - Torsión de diseño .....	A-30
A.3.6.8 - DIAFRAGMAS .....	A-30
A.3.6.9 - ELEMENTOS LOCALIZADOS DEBAJO DE LA BASE .....	A-30
A.3.6.10 - MUROS ESTRUCTURALES .....	A-30
A.3.6.11 - ESTRUCTURAS DE TIPO PENDULO INVERTIDO .....	A-30
A.3.6.12 - ELEMENTOS VERTICALES DISCONTINUOS .....	A-31
A.3.6.13 - EFECTO DE LAS ACELERACIONES VERTICALES .....	A-31
A.3.7 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	A-31
A.3.7.1 - SISTEMA DE RESISTENCIA SISMICA .....	A-31
A.3.7.2 - CIMENTACION .....	A-31
A.3.8 - ESTRUCTURAS AISLADAS SISMICAMENTE EN SU BASE .....	A-32
Tabla A.3-1 - SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CARGA (Nota 1) .....	A-33
Tabla A.3-2 - SISTEMA ESTRUCTURAL COMBINADO .....	A-34
Tabla A.3-3 - SISTEMA ESTRUCTURAL DE PORTICO .....	A-35
Tabla A.3-4 - SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL .....	A-36
Tabla A.3-4 (Continuación) - SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL .....	A-37
Tabla A.3-5 - Mezcla de sistemas estructurales en la altura .....	A-38
Tabla A.3-6 - Irregularidades en planta .....	A-39
Tabla A.3-7 - Irregularidades en la altura .....	A-40
FIGURA A.3-1 - IRREGULARIDADES EN PLANTA .....	A-41
FIGURA A.3-2 - IRREGULARIDADES EN LA ALTURA .....	A-42
<b>CAPITULO A.4 - METODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE .....</b>	<b>A-43</b>
A.4.0 – NOMENCLATURA .....	A-43
A.4.1 - GENERAL .....	A-43
A.4.2 - PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACION .....	A-43
A.4.3 - FUERZAS SISMICAS HORIZONTALES EQUIVALENTES .....	A-44
A.4.4 - ANALISIS DE LA ESTRUCTURA .....	A-45
A.4.5 - USO DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (SI) EN EL CALCULO DE LAS FUERZAS SISMICAS DE ACUERDO CON ESTE CAPITULO .....	A-45
<b>CAPITULO A.5 - METODO DEL ANALISIS DINAMICO .....</b>	<b>A-47</b>
A.5.0 – NOMENCLATURA .....	A-47
A.5.1 – GENERAL .....	A-47
A.5.2 - MODELO MATEMATICO .....	A-48
A.5.2.1 - MODELO MATEMATICO A EMPLEAR .....	A-48
A.5.2.1.1 - Modelo tridimensional con diafragma rígido .....	A-48
A.5.2.1.2 - Modelo tridimensional con diafragma flexible .....	A-48
A.5.2.1.3 - Modelos limitados a un plano vertical .....	A-48
A.5.2.1.4 - Otros modelos .....	A-48
A.5.2.2 - MASA DE LA EDIFICACION .....	A-48
A.5.2.3 - RIGIDEZ EN LOS METODOS DINAMICOS ELASTICOS .....	A-48
A.5.2.4 - RIGIDEZ EN LOS METODOS DINAMICOS INELASTICOS .....	A-48
A.5.3 - REPRESENTACION DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS .....	A-49
A.5.3.1 - GENERALIDADES .....	A-49
A.5.3.2 - PROCEDIMIENTOS ESPECTRALES .....	A-49
A.5.3.3 - PROCEDIMIENTOS CRONOLOGICOS .....	A-49
A.5.4 - ANALISIS DINAMICO ELASTICO ESPECTRAL .....	A-49
A.5.4.1 - METODOLOGIA DEL ANALISIS .....	A-49
A.5.4.2 - NUMERO DE MODOS DE VIBRACION .....	A-49

A.5.4.3 - CALCULO DEL CORTANTE MODAL EN LA BASE .....	A-50
A.5.4.4 - COMBINACION DE LOS MODOS .....	A-50
A.5.4.5 - AJUSTE DE LOS RESULTADOS .....	A-50
A.5.4.6 - EFECTOS DIRECCIONALES .....	A-50
A.5.4.7 - TORSION .....	A-50
A.5.4.8 - SISTEMAS DUALES .....	A-50
A.5.5 - METODO DE ANALISIS DINAMICO CRONOLOGICO .....	A-51
A.5.5.1 - GENERALIDADES .....	A-51
A.5.5.2 - RESPUESTA MAXIMA .....	A-51
A.5.5.3 - AJUSTE DE LOS RESULTADOS .....	A-51
A.5.5.4 - FUERZAS DE DISEÑO EN LOS ELEMENTOS .....	A-51
A.5.5.5 - FUERZAS DE DISEÑO EN LA CIMENTACION .....	A-51
<b>CAPITULO A.6 - REQUISITOS DE LA DERIVA .....</b>	<b>A-53</b>
A.6.0 – NOMENCLATURA .....	A-53
A.6.1 – GENERAL .....	A-53
A.6.1.1 - ALCANCE .....	A-53
A.6.1.2 - DEFINICION DE DERIVA .....	A-53
A.6.1.3 - NECESIDAD DE CONTROLAR LA DERIVA .....	A-53
A.6.2 - CALCULO DEL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL .....	A-54
A.6.2.1 - DESPLAZAMIENTOS TOTALES HORIZONTALES .....	A-54
A.6.2.2 - DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN EL CENTRO DE MASA DEL PISO .....	A-54
A.6.2.3 - EFECTOS TORSIONALES .....	A-54
A.6.2.4 - EFECTOS P-DELTA .....	A-54
A.6.3 - EVALUACION DE LA DERIVA MAXIMA .....	A-55
A.6.3.1 - DERIVA MAXIMA .....	A-55
A.6.4 - LIMITES DE LA DERIVA .....	A-55
Tabla A.6-1 - DERIVAS MAXIMAS COMO PORCENTAJE DE $h_{pi}$ .....	A-55
A.6.5 - SEPARACION ENTRE ESTRUCTURAS ADYACENTES .....	A-55
A.6.5.1 - DENTRO DE LA MISMA CONSTRUCCION .....	A-55
A.6.5.2 - ENTRE EDIFICACIONES VECINAS .....	A-55
<b>CAPITULO A.7 - INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA .....</b>	<b>A-57</b>
A.7.1 – GENERAL .....	A-57
A.7.1.1 - DEFINICION .....	A-57
A.7.1.2 - EFECTOS ASOCIADOS CON LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA .....	A-57
A.7.1.3 - PROCEDIMIENTO RECOMENDADO .....	A-57
A.7.2 - INFORMACION GEOTECNICA .....	A-57
A.7.2.1 - EXPLORACION .....	A-57
A.7.2.2 - LABORATORIO .....	A-57
A.7.2.3 - INTERPRETACION .....	A-58
A.7.2.4 - REVISION Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS .....	A-58
A.7.3 - ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL .....	A-58
A.7.3.1 - TIPO DE MODELO .....	A-58
A.7.3.2 - FUERZAS DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	A-58
A.7.3.3 - DERIVAS .....	A-58
A.7.3.4 - CORTANTE SISMICO EN LA BASE .....	A-58
A.7.3.5 - VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE LOS EFECTOS DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA .....	A-58
<b>CAPITULO A.8 - EFECTOS SISMICOS SOBRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE NO HACEN PARTE DEL SISTEMA DE RESISTENCIA SISMICA .....</b>	<b>A-59</b>
A.8.0 – NOMENCLATURA .....	A-59
A.8.1 – GENERAL .....	A-59
A.8.1.1 - ALCANCE .....	A-59
A.8.1.2 - RESPONSABILIDAD DEL DISEÑO .....	A-59
A.8.1.3 - CRITERIO DE DISEÑO .....	A-59
A.8.2 - FUERZAS HORIZONTALES DE DISEÑO .....	A-60
A.8.2.1 - ACCELERACION HORIZONTAL SOBRE EL ELEMENTO .....	A-60
A.8.2.1.1 - Método de la fuerza horizontal equivalente .....	A-60
A.8.2.1.2 - Método del análisis dinámico .....	A-60
A.8.2.2 - FUERZAS HORIZONTALES SOBRE EL ELEMENTO .....	A-60
A.8.2.3 - FUERZAS SOBRE LAS UNIONES AL SISTEMA DE RESISTENCIA SISMICA .....	A-60
A.8.3 - DEFORMACIONES DE DISEÑO .....	A-61
A.8.4 - REQUISITOS DE DISEÑO .....	A-61
<b>CAPITULO A.9 - ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES .....</b>	<b>A-63</b>
A.9.0 – NOMENCLATURA .....	A-63
A.9.1 – GENERAL .....	A-63
A.9.1.1 - PROPOSITO .....	A-63
A.9.1.2 - ALCANCE .....	A-63
A.9.1.3 - EXCENCIONES .....	A-63
A.9.2 - GRADO DE DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES .....	A-63
A.9.2.1 - DEFINICION DEL DESEMPEÑO .....	A-63
A.9.2.2 - CLASIFICACION EN UNO DE LOS GRADOS DE DESEMPEÑO .....	A-64
A.9.2.3 - GRADO DE DESEMPEÑO MINIMO .....	A-64

Tabla A.9-1 - Grado de desempeño mínimo requerido.....	A-64
<b>A.9.3 – RESPONSABILIDADES .....</b>	<b>A-64</b>
A.9.3.1 - DEL DISEÑADOR RESPONSABLE .....	A-64
A.9.3.2 - DEL SUPERVISOR TECNICO .....	A-64
A.9.3.3 - COORDINACION ENTRE DISEÑOS DE ELEMENTOS QUE HACEN PARTE DE DIFERENTES SISTEMAS .....	A-64
<b>A.9.4 - CRITERIO DE DISEÑO .....</b>	<b>A-64</b>
A.9.4.1 - GENERAL .....	A-64
A.9.4.2 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO .....	A-65
A.9.4.2.1 - Aceleración en el punto de soporte del elemento - $a_x$ .....	A-65
A.9.4.2.2 - Amplificación dinámica del elemento no estructural - $a_p$ .....	A-65
A.9.4.2.3 - Capacidad de disipación de energía en el rango inelástico del elemento no estructural - $R_p$ .....	A-65
A.9.4.3 - CAPACIDAD DE DEFORMACION .....	A-66
A.9.4.4 - APLICACIÓN DE LAS FUERZAS SISMICAS .....	A-66
A.9.4.5 - TRANSFERENCIA DE LAS FUERZAS SISMICAS .....	A-66
A.9.4.6 - OTRAS SOLICITACIONES .....	A-66
A.9.4.7 - DISEÑO UTILIZANDO EL METODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO .....	A-66
A.9.4.8 - ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES LOCALIZADOS EN LA BASE DE LA ESTRUCTURA Y POR DEBAJO DE ELLA, O FUERA DE ELLA .....	A-66
A.9.4.9 - TIPOS DE ANCLAJE SEGUN EL VALOR DE $R_p$ PERMITIDO PARA EL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL .....	A-66
A.9.4.9.1 - Especiales ( $R_p = 6$ ) .....	A-66
A.9.4.9.2 - Dúctiles ( $R_p = 3$ ) .....	A-66
A.9.4.9.3 - No dúctiles ( $R_p = 1.5$ ) .....	A-66
A.9.4.9.4 - Húmedos ( $R_p = 0.5$ ) .....	A-67
A.9.4.10 - ELEMENTOS DE CONEXION PARA COMPONENTES NO ESTRUCTURALES .....	A-67
<b>A.9.5 - ACABADOS Y ELEMENTOS ARQUITECTONICOS .....</b>	<b>A-67</b>
A.9.5.1 - GENERAL .....	A-67
A.9.5.2 - ELEMENTOS QUE REQUIEREN ESPECIAL CUIDADO EN SU DISEÑO .....	A-67
A.9.5.3 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO .....	A-67
TABLA A.9-2 - Coeficiente de amplificación dinámica, $a_p$ , y coeficiente de capacidad de disipación de energía mínimo requerido, $R_p$ , para elementos arquitectónicos y acabados .....	A-68
A.9.5.4 - FUERZAS DE VIENTO .....	A-68
A.9.5.5 - ANCLAJE DE LAS FACHADAS .....	A-68
A.9.5.6 - CAPACIDAD DE DEFORMACION .....	A-68
A.9.5.7 - FUERZAS SISMICAS EN LA DIRECCION PERPENDICULAR AL PLANO DEL MURO NO ESTRUCTURAL .....	A-68
A.9.5.8 - CIELOS RASOS .....	A-69
<b>A.9.6 - INSTALACIONES HIDRAULICAS, SANITARIAS, MECANICAS Y ELECTRICAS.....</b>	<b>A-69</b>
A.9.6.1 - GENERAL .....	A-69
A.9.6.2 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO .....	A-69
A.9.6.3 - SOPORTES .....	A-69
A.9.6.4 - EMPATES CON LAS REDES DE SERVICIOS PUBLICOS .....	A-69
A.9.6.5 - INTERRUPTORES AUTOMATICOS .....	A-69
A.9.6.6 - ASCENSORES EN EDIFICACIONES DEL GRUPO DE USO IV .....	A-69
TABLA A.9-3 - Coeficiente de amplificación dinámica, $a_p$ , y coeficiente de capacidad de disipación de energía mínimo requerido, $R_p$ , para elementos hidráulicos, mecánicos o eléctricos .....	A-70
 <b>CAPITULO A.10 - EDIFICACIONES CONSTRUIDAS ANTES DE LA VIGENCIA DE LA PRESENTE VERSION DEL REGLAMENTO .....</b>	 <b>A-71</b>
<b>A.10.0 – NOMENCLATURA .....</b>	<b>A-71</b>
<b>A.10.1 - PROPOSITO Y ALCANCE .....</b>	<b>A-71</b>
A.10.1.1 - GENERAL .....	A-71
A.10.1.2 - PROPOSITO .....	A-71
A.10.1.3 - ALCANCE .....	A-71
A.10.1.3.1 - Análisis de vulnerabilidad sísmica .....	A-71
A.10.1.3.2 - Reparaciones y cambios menores .....	A-71
A.10.1.3.3 - Cambio de uso .....	A-71
A.10.1.3.4 - Edificaciones diseñadas y construidas utilizando la presente versión del Reglamento .....	A-72
A.10.1.3.5 - Edificaciones declaradas como patrimonio histórico .....	A-72
A.10.1.3.6 - Reforzamiento y rehabilitación de edificaciones existentes .....	A-72
A.10.1.3.7 - Reparación de edificaciones con posterioridad a la ocurrencia de un sismo .....	A-72
A.10.1.4 - PROCEDIMIENTO DE EVALUACION Y DISEÑO .....	A-72
INFORMACION PRELIMINAR .....	A-72
EVALUACION DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE .....	A-72
MODIFICACION DEL SISTEMA ESTRUCTURAL .....	A-73
A.10.1.5 - CALCULOS, MEMORIAS Y PLANOS .....	A-73
A.10.1.6 - SUPERVISION TECNICA .....	A-73
A.10.1.7 - CRITERIO Y RESPONSABILIDAD DEL INGENIERO .....	A-73
<b>A.10.2 - ESTUDIOS E INVESTIGACIONES REQUERIDAS.....</b>	<b>A-74</b>
A.10.2.1 - INFORMACION PREVIA .....	A-74
A.10.2.2 - ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL .....	A-74
A.10.2.2.1 - Calidad del diseño y la construcción de la estructura original .....	A-74
A.10.2.2.2 - Estado de la estructura .....	A-74
<b>A.10.3 - CRITERIOS DE EVALUACION DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE.....</b>	<b>A-74</b>
A.10.3.1 - GENERAL .....	A-74
A.10.3.2 - SOLICITACIONES EQUIVALENTES .....	A-74
A.10.3.2.1 - Movimientos sísmicos de diseño .....	A-74

A.10.3.2.2 - Clasificación del sistema estructural .....	A-74
A.10.3.2.3 - Coeficiente de capacidad de disipación de energía, $R'$ .....	A-74
A.10.3.2.4 - Fuerzas sísmicas .....	A-75
A.10.3.2.5 - Cargas diferentes a las solicitaciones sísmicas .....	A-75
A.10.3.2.6 - Análisis estructural .....	A-75
A.10.3.2.7 - Obtención de las solicitaciones equivalentes .....	A-75
A.10.3.3 - RELACION ENTRE DEMANDA Y CAPACIDAD .....	A-75
A.10.3.3.1 - Definición del índice de sobreesfuerzo .....	A-75
A.10.3.3.2 - Determinación del índice de sobreesfuerzo .....	A-76
A.10.3.3.3 - Resistencia existente de los elementos .....	A-76
A.10.3.3.4 - Resistencia efectiva .....	A-76
A.10.3.3.5 - Definición del índice de flexibilidad .....	A-76
Tabla A.10-1 - Valores de $f_c$ y $f_e$ .....	A-76
A.10.4 - TIPOS DE MODIFICACION .....	A-76
A.10.4.1 - AMPLIACIONES .....	A-76
A.10.4.2 - ACTUALIZACION AL REGLAMENTO .....	A-77
A.10.5 - MODIFICACIONES ADOSADAS .....	A-77
A.10.5.1 - NECESIDAD DE MODIFICAR LA ESTRUCTURA EXISTENTE .....	A-77
A.10.5.2 - RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE FUNCIONAMIENTO REQUERIDAS .....	A-77
A.10.5.3 - REQUISITOS CONSTRUCTIVOS .....	A-77
A.10.5.4 - EFECTOS EN LA CIMENTACION .....	A-77
A.10.6 - AMPLIACION EN ALTURA .....	A-78
A.10.6.1 - TRABAJO EN CONJUNTO .....	A-78
A.10.6.2 - RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE FUNCIONAMIENTO REQUERIDAS .....	A-78
A.10.6.2.1 - Cargas verticales .....	A-78
A.10.6.2.2 - Fuerzas horizontales .....	A-78
A.10.6.3 - ELEMENTOS ESTRUCTURALES ADICIONALES EN LA PORCION ANTIGUA .....	A-78
A.10.6.4 - EMPALME DE ELEMENTOS NUEVOS CON ELEMENTOS ANTIGUOS .....	A-78
A.10.6.5 - REQUISITOS CONSTRUCTIVOS .....	A-78
A.10.6.6 - EFECTOS EN LA CIMENTACION .....	A-78
A.10.7 - REFORZAMIENTO Y REHABILITACION SISMICA .....	A-78
A.10.7.1 - ALCANCE .....	A-78
A.10.7.2 - RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE FUNCIONAMIENTO REQUERIDAS SEGÚN EL USO Y LA EDAD DE LA EDIFICACION .....	A-79
A.10.7.2.1 - Intervención de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad .....	A-79
A.10.7.2.2 - Intervención de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia de la Ley 400 de 1997 .....	A-79
A.10.7.2.3 - Intervención de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia del Decreto 1400 de 1984 .....	A-79
A.10.7.2.4 - Intervención de edificaciones diseñadas y construidas antes de la vigencia del Decreto 1400 de 1984 .....	A-79
A.10.7.3 - REQUISITOS CONSTRUCTIVOS .....	A-79
A.10.8 - ANALISIS DE VULNERABILIDAD .....	A-79
A.10.8.1 - GENERAL .....	A-79
A.10.8.2 - EDIFICACIONES INDISPENSABLES .....	A-80
A.10.8.3 - METODOLOGIAS ALTERNAS .....	A-80
A.10.9 - REPARACION DE EDIFICACIONES CON POSTERIORIDAD A LA OCURRENCIA DE UN SISMO .....	A-80
A.10.9.1 - GENERAL .....	A-80
A.10.9.1.1 - Objeto .....	A-80
A.10.9.1.2 - Alcance de la reparación .....	A-80
A.10.9.1.3 - Ocupación de la edificación durante su reparación .....	A-81
A.10.9.2 - ESTUDIOS E INVESTIGACIONES REQUERIDAS .....	A-81
A.10.9.2.1 - Procedimiento de evaluación de daños y del diseño de la reparación .....	A-81
A.10.9.2.2 - Cálculos, memorias y planos de la reparación .....	A-81
A.10.9.2.3 - Supervisión técnica .....	A-81
A.10.9.2.4 - Información sobre la estructura y su estado .....	A-81
A.10.9.2.5 - Criterios para diseñar la reparación .....	A-81
<b>CAPITULO A.11 - INSTRUMENTACION SISMICA .....</b>	<b>A-83</b>
A.11.1 - GENERAL .....	A-83
A.11.1.1 - INSTRUMENTACION .....	A-83
A.11.1.2 - ACELEROGRAFOS .....	A-83
A.11.1.3 - LOCALIZACION .....	A-83
A.11.1.4 - CARACTERISTICAS DEL ESPACIO DONDE SE COLOCA EL INSTRUMENTO .....	A-83
A.11.1.5 - COSTOS .....	A-84
A.11.2 - COLOCACION DE INSTRUMENTOS SISMICOS .....	A-84
A.11.2.1 - ZONAS DE AMENAZA SISMICA ALTA .....	A-84
A.11.2.2 - ZONAS DE AMENAZA SISMICA INTERMEDIA .....	A-84
A.11.2.3 - ZONAS DE AMENAZA SISMICA BAJA .....	A-84
<b>CAPITULO A.12 - REQUISITOS ESPECIALES PARA EDIFICACIONES INDISPENSABLES</b>	
<b>DEL GRUPO DE USO IV .....</b>	<b>A-87</b>
A.12.0 - NOMENCLATURA .....	A-87
A.12.1 - GENERAL .....	A-87
A.12.1.1 - PROPOSITO .....	A-87
A.12.1.2 - ALCANCE .....	A-87
A.12.1.3 - METODOLOGIA .....	A-87
A.12.1.4 - PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN .....	A-87



Paso A - Movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño .....	A-87
Paso B - Fuerzas sísmicas correspondientes al umbral de daño .....	A-87
Paso C - Análisis de la estructura para las fuerzas sísmicas correspondientes al umbral de daño .....	A-88
Paso D - Verificación para el umbral de daño .....	A-88
<b>A.12.2 - MOVIMIENTOS SISMICOS DEL UMBRAL DE DAÑO .....</b>	<b>A-88</b>
TABLA A.12-1 - VALORES DE $A_d$ SEGUN LA REGION DEL MAPA DE LA FIGURA A.12-1.....	A-88
Tabla A.12-2 - VALORES DE $A_d$ PARA LAS CIUDADES CAPITALES DE DEPARTAMENTO .....	A-88
Figura A.12-1 - MAPA DE VALORES DE $A_d$ .....	A-89
<b>A.12.3 - ESPECTRO DEL UMBRAL DE DAÑO .....</b>	<b>A-90</b>
Figura A.12-2 - Espectro elástico del umbral de daño.....	A-90
<b>A.12.4 - METODOLOGIA DE ANALISIS .....</b>	<b>A-91</b>
A.12.4.1 - METODO DE ANALISIS A UTILIZAR .....	A-91
A.12.4.2 - RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA Y SUS ELEMENTOS .....	A-91
A.12.4.3 - USO DEL METODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE EN LA EVALUACION DEL UMBRAL DE DAÑO .....	A-91
A.12.4.3.1 - Periodo fundamental de la edificación .....	A-91
A.12.4.3.2 - Fuerzas sísmicas horizontales del umbral de daño .....	A-91
A.12.4.3.3 - Análisis de la estructura para las fuerzas sísmicas horizontales del umbral de daño .....	A-91
A.12.4.4 - USO DEL METODO DE ANALISIS DINAMICO EN LA EVALUACION DEL UMBRAL DE DAÑO .....	A-91
<b>A.12.5 - REQUISITOS DE LA DERIVA PARA EL UMBRAL DE DAÑO.....</b>	<b>A-92</b>
A.12.5.1 - DESPLAZAMIENTOS TOTALES HORIZONTALES PARA EL UMBRAL DE DAÑO .....	A-92
A.12.5.2 - DERIVA MAXIMA PARA EL UMBRAL DE DAÑO .....	A-92
A.12.5.3 - LIMITES DE LA DERIVA PARA EL UMBRAL DE DAÑO .....	A-92
Tabla A.12-3 - DERIVAS MAXIMAS PARA EL UMBRAL DE DAÑO COMO PORCENTAJE DE $h_{pi}$ .....	A-92
<b>A.12.6 - VERIFICACION DE ESFUERZOS.....</b>	<b>A-92</b>
A.12.6.1 - ELEMENTOS ESTRUCTURALES .....	A-92
A.12.6.2 - MUROS NO ESTRUCTURALES .....	A-92
<b>CAPITULO A.13 - DEFINICIONES Y NOMENCLATURA DEL TITULO A .....</b>	<b>A-93</b>
A.13.1 - DEFINICIONES .....	A-93
A.13.2 - NOMENCLATURA .....	A-102
<b>APENDICE A-1 - RECOMENDACIONES SISMICAS PARA ALGUNAS ESTRUCTURAS QUE SE SALEN DEL ALCANCE DEL REGLAMENTO .....</b>	<b>A-105</b>
A-1.0 – NOMENCLATURA .....	A-105
A-1.1 - GENERAL .....	A-105
A-1.1.1 - ALCANCE .....	A-105
A-1.1.2 - REQUISITOS APLICABLES .....	A-105
A-1.2 - PERIODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA .....	A-105
A-1.3 - CALCULO DE LAS FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO .....	A-105
A-1.3.1 - MOVIMIENTOS SISMICOS DE DISEÑO .....	A-105
A-1.3.2 - MASA TOTAL, $M$ – .....	A-105
A-1.3.3 - COEFICIENTE DE IMPORTANCIA, $I$ .....	A-105
A-1.3.4 - DISTRIBUCION EN LA ALTURA DE LAS FUERZAS SISMICAS .....	A-106
A-1.3.5 - COEFICIENTE BASICO DE DISIPACION DE ENERGIA, $R_o$ .....	A-106
A-1.4 - REQUISITOS DE DERIVA.....	A-106
Tabla A-1-1- Coeficiente de capacidad de disipación de energía, $R_o$ , para algunas estructuras especiales .....	A-106
<b>APENDICE A-2 - RECOMENDACIONES PARA EL CALCULO DE LOS EFECTOS DE INTERACCION DINAMICA SUELO-ESTRUCTURA .....</b>	<b>A-107</b>
A-2.0 – NOMENCLATURA .....	A-107
A-2.1 – GENERAL.....	A-108
A-2.2 - METODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE.....	A-109
A-2.2.1 - CORTANTE EN LA BASE .....	A-109
A-2.2.1.1 - Período efectivo de la edificación .....	A-109
Tabla A-2-1 - Valores de $G/G_o$ y $v_s/v_{so}$ .....	A-109
A-2.2.1.2 - Amortiguamiento efectivo .....	A-110
Figura A-2-1 - Coeficiente de amortiguamiento crítico de la cimentación, $b_o$ .....	A-111
A-2.2.2 - DISTRIBUCIÓN EN LA ALTURA DE LAS FUERZAS SÍSMICAS .....	A-111
A-2.2.3 - OTROS EFECTOS .....	A-111
A-2.3 - METODO DEL ANALISIS MODAL.....	A-111
A-2.3.1 - CORTANTES MODALES EN LA BASE .....	A-111
A-2.3.2 - OTROS EFECTOS MODALES .....	A-112
A-2.3.3 - VALORES DE DISEÑO .....	A-112
<b>APENDICE A-3 - VALORES DE <math>A_a</math> Y <math>A_d</math> Y DEFINICION DE LA ZONA DE AMENAZA SISMICA DE LOS MUNICIPIOS COLOMBIANOS .....</b>	<b>A-113</b>
DEPARTAMENTO DE AMAZONAS.....	A-113
DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA .....	A-113
DEPARTAMENTO DE ARAUCA .....	A-114
DEPARTAMENTO DE ATLANTICO .....	A-114
DEPARTAMENTO DE BOLIVAR.....	A-114
DEPARTAMENTO DE BOYACA .....	A-115
DEPARTAMENTO DE CALDAS.....	A-116

DEPARTAMENTO DE CAQUETA.....	A-116
DEPARTAMENTO DE CASANARE .....	A-116
DEPARTAMENTO DE CAUCA .....	A-116
DEPARTAMENTO DE CESAR.....	A-117
DEPARTAMENTO DE CHOCO.....	A-117
DEPARTAMENTO DE CORDOBA.....	A-117
DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA.....	A-118
DEPARTAMENTO DE GUAINIA .....	A-119
DEPARTAMENTO DE GUAJIRA .....	A-119
DEPARTAMENTO DE GUAVIARE .....	A-119
DEPARTAMENTO DE HUILA .....	A-119
DEPARTAMENTO DE MAGDALENA .....	A-119
DEPARTAMENTO DE META.....	A-120
DEPARTAMENTO DE NARIÑO.....	A-120
DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER.....	A-121
DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO.....	A-121
DEPARTAMENTO DE QUINDIO.....	A-121
DEPARTAMENTO DE RISARALDA .....	A-121
DEPARTAMENTO DE SAN ANDRES Y PROVIDENCIA.....	A-122
SANTA FE DE BOGOTA, DISTRITO CAPITAL.....	A-122
DEPARTAMENTO DE SANTANDER.....	A-122
DEPARTAMENTO DE SUCRE .....	A-123
DEPARTAMENTO DE TOLIMA .....	A-123
DEPARTAMENTO DE VAUPES .....	A-123
DEPARTAMENTO DE VALLE DEL CAUCA .....	A-123
DEPARTAMENTO DE VICHADA .....	A-124

**MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO****DECRETO NUMERO 33 DE 1998  
(9 de Enero de 1998)**

**Por el cual se establecen los requisitos de  
carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes  
NSR-98**

— \* —

**EI PRESIDENTE DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA**

en ejercicio de las facultades constitucionales y legales, en especial las que le confieren el Artículo 189, Numeral 11, de la Constitución Política y la Ley 400 de 1997,

**DECRETA:**

**ARTICULO PRIMERO.** - Adóptase el siguiente **Reglamento de construcciones sismo resistentes, NSR-98**, que tendrá vigencia en todo el territorio de la República.

**TITULO A  
REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y  
CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE****CAPITULO A.1  
INTRODUCCION****A.1.1 - NORMAS SISMO RESISTENTES COLOMBIANAS**

**A.1.1.1** - El diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones en el territorio de la República de Colombia debe someterse a los criterios y requisitos mínimos que se establecen en la Normas Sismo Resistentes Colombianas, las cuales comprenden:

- (a) la Ley 400 de 1997,
- (b) el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, NSR-98, contenido en el presente Decreto, y
- (c) las resoluciones expedidas por la “Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes” del Gobierno Nacional, adscrita al Ministerio de Desarrollo Económico, y creada por el Artículo 39 de la Ley 400 de 1997.

## **A.1.2 - ORGANIZACION DEL PRESENTE REGLAMENTO**

**A.1.2.1 - TEMARIO** - El presente Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, NSR-98, está dividido temáticamente en los siguientes Títulos, de acuerdo con lo prescrito en el Artículo 47 de la Ley 400 de 1997, así:

**TITULO A.** - Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente

**TITULO B.** - Cargas

**TITULO C.** - Concreto estructural

**TITULO D.** - Mampostería estructural

**TITULO E.** - Casas de uno y dos pisos

**TITULO F.** - Estructuras metálicas

**TITULO G.** - Estructuras de madera

**TITULO H.** - Estudios geotécnicos

**TITULO I.** - Supervisión técnica

**TITULO J.** - Requisitos de protección contra el fuego en edificaciones

**TITULO K.** - Otros requisitos complementarios

**A.1.2.2 - OBJETO** - El presente Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes, NSR-98, tiene por objeto reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos. Una edificación diseñada siguiendo los requisitos de este Reglamento, debe ser capaz de resistir, además de las fuerzas que le impone su uso, temblores de poca intensidad sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño a los elementos no estructurales y un temblor fuerte con daños a elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso.

**A.1.2.3 - ALCANCE** - El presente Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes, NSR-98, contiene:

**A.1.2.3.1** - Los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones nuevas, con el fin de que sean capaces de resistir las fuerzas que les impone la naturaleza o su uso y para incrementar su resistencia a los efectos producidos por los movimientos sísmicos. Además establece, en el Título E, requisitos simplificados de diseño y construcción para casas de uno y dos pisos que pertenezcan al grupo de uso **I** tal como lo define A.2.5.1.4.

**A.1.2.3.2** - Para edificaciones construidas antes de la vigencia del presente Reglamento, el Capítulo A. 10 establece los requisitos a emplear en la adición, modificación y remodelación del sistema estructural; el análisis de vulnerabilidad, el diseño de las intervenciones de reforzamiento y rehabilitación sísmica, y la reparación de edificaciones con posterioridad a la ocurrencia de un sismo.

**A.1.2.3.3** - En el Capítulo A.12 se establecen requisitos especiales para el diseño y construcción sismo resistente de edificaciones indispensables pertenecientes al grupo de uso **IV**, tal como lo define A.2.5.1.1;

esenciales para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de una emergencia, incluyendo un sismo.

**A.1.2.4 - EXCEPCIONES** - El presente Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes, NSR-98, no se aplica a:

**A.1.2.4.1** - El diseño y construcción de estructuras especiales tales como puentes, torres de transmisión, torres y equipos industriales, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas estructuras cuyo comportamiento dinámico difiera del de edificaciones convencionales o no estén cubiertas dentro de las limitaciones de cada uno de los materiales estructurales prescritos dentro de este Reglamento. Para algunas estructuras que se salen del alcance del Reglamento, puede consultarse el Apéndice A-1, el cual no tiene carácter obligatorio.

**A.1.2.5 - DEFINICIONES** - En el Capítulo A.13 del presente Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes se dan las definiciones de los términos empleados en el presente Título A del Reglamento.

## **A.1.3 - PROCEDIMIENTO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE EDIFICACIONES, DE ACUERDO CON EL REGLAMENTO**

**A.1.3.1 - GENERAL** – El diseño y construcción de una edificación sometida a este Reglamento debe llevarse a cabo como se indica a continuación. Las diferentes etapas de los estudios, construcción y supervisión técnica, se amplían en la secciones pertinentes del Reglamento.

**A.1.3.2 – ESTUDIOS GEOTECNICOS** – Debe realizarse una exploración del subsuelo en el lugar en que se va a construir la edificación. El alcance de la exploración y el programa de ensayos de laboratorio se establece en el Título H – Estudios Geotécnicos. El ingeniero geotecnista debe elaborar un informe en el cual relacione la exploración y los resultados obtenidos en el laboratorio, se den las recomendaciones que debe seguir el ingeniero estructural en el diseño de la cimentación y obras de contención, la definición de los efectos sísmicos locales, los procedimientos constructivos que debe emplear el constructor, y los aspectos especiales a ser tenidos en cuenta por el supervisor técnico. En el reporte se deben indicar los asentamientos esperados, su variabilidad en el tiempo y las medidas que deben tomarse para no afectar adversamente las construcciones vecinas. El reporte debe ir firmado, o rotulado, por un ingeniero civil facultado para este fin de acuerdo con la Ley 400 de 1997.

**A.1.3.3 – DISEÑO ARQUITECTONICO** – El proyecto arquitectónico de la edificación debe cumplir la reglamentación urbana vigente, y además debe indicar, para efectos de este Reglamento, los usos de cada una de las partes de la edificación y su clasificación dentro de los grupos de uso definidos en el Capítulo A.2, el tipo de cada uno de los elementos no estructurales y el grado de desempeño mínimo que deben tener de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.9. El proyecto arquitectónico debe ir firmado por un arquitecto con matrícula profesional vigente. Cuando los planos arquitectónicos incluyan los diseños sísmicos de los elementos no estructurales, éstos deben ir firmados, o rotulados, por un profesional facultado para este fin de acuerdo con la Ley 400 de 1997.

**A.1.3.4 – DISEÑO ESTRUCTURAL** – El diseño estructural debe ser realizado por un ingeniero civil facultado para este fin, de acuerdo con la Ley 400 de 1997. La estructura de la edificación debe diseñarse para que tenga resistencia y rigidez adecuada ante las cargas mínimas de diseño prescritas por el Reglamento y debe, además, verificarse que dispone de rigidez adecuada para limitar la deformabilidad ante las cargas de servicio, de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de la edificación. A continuación se especifican las etapas que deben llevarse a cabo, dentro del alcance de este Reglamento, en el diseño de edificaciones diferentes a las cubiertas en A.1.3.11:

**Paso 1 - Predimensionamiento y coordinación con los otros profesionales** – Definición del sistema estructural, dimensiones tentativas para evaluar preliminarmente las diferentes solicitudes tales como: la masa de la estructura, las cargas muertas, las cargas vivas, los efectos sísmicos, y las fuerzas de viento. Estas dimensiones preliminares se coordinan con los otros profesionales que participan en el diseño.

**Paso 2 - Evaluación de las solicitudes definitivas** – Con las dimensiones de los elementos de la estructura definidas como resultado del paso 1, se evalúan todas las solicitudes que pueden afectar la edificación de acuerdo con los requisitos del Título B del Reglamento. Estas incluyen: el efecto gravitacional de la masa de los elementos estructurales, o peso propio, las cargas de acabados y elementos no estructurales, las cargas muertas, las fuerzas de viento, las deformaciones impuestas por efectos reológicos de los materiales estructurales y asentamientos del

suelo que da apoyo a la fundación. Así mismo se debe determinar la masa de la edificación y su contenido cuando así lo exige el reglamento, la cual será empleada en la determinación de los efectos sísmicos, de acuerdo con los siguientes pasos.

**Paso 3 – Obtención del nivel de amenaza sísmica y el valor del  $A_a$**  - Este paso consiste en localizar el lugar donde se construirá la edificación dentro de los mapas de zonificación sísmica dados en el Capítulo A.2 del Reglamento y en determinar el nivel de amenaza sísmica del lugar, de acuerdo con el valor del parámetro  $A_a$  obtenido en los mapas de zonificación sísmica del Capítulo A.2. El nivel de amenaza sísmica se clasificará como alta, intermedia o baja. En el Apéndice A-3 se presenta una enumeración de los municipios colombianos, con su definición de la zona de amenaza sísmica, y el valor del parámetro  $A_a$ , entre otros.

**Paso 4 - Movimientos sísmicos de diseño** - Deben definirse unos movimientos sísmicos de diseño en el lugar de la edificación, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.2 del Reglamento, tomando en cuenta:

- (a) la amenaza sísmica para el lugar determinada en el paso 3, expresada a través del parámetro  $A_a$ , el cual representa la aceleración horizontal pico efectiva del sismo de diseño,
- (b) las características de la estratificación del suelo subyacente en el lugar a través de un coeficiente de sitio  $S$ , y
- (c) la importancia de la edificación para la recuperación de la comunidad con posterioridad a la ocurrencia de un sismo a través de un coeficiente de importancia  $I$ .

Las características de los movimientos sísmicos de diseño se expresan por medio de un espectro elástico de diseño. El Reglamento contempla descripciones alternativas del sismo de diseño, ya sea a través de familias de acelerogramas, o bien por medio de expresiones derivadas de estudios de microzonificación sísmica; las cuales deben determinarse siguiendo los requisitos dados en el Capítulo A.2.

**Paso 5 - Características de la estructuración y del material estructural empleado** - El sistema estructural de resistencia sísmica de la edificación debe clasificarse dentro de uno de los sistemas estructurales prescritos en el Capítulo A.3: sistema de muros de carga, sistema combinado, sistema de pórtico, o sistema dual. El Reglamento define limitaciones en el empleo de los sistemas estructurales de resistencia sísmica en función de la zona de amenaza sísmica donde se encuentre localizada la edificación, del tipo de material estructural empleado (concreto estructural, estructura metálica, mampostería estructural, o madera), de la forma misma como se disponga el material en los elementos estructurales según esté en posibilidad de responder adecuadamente ante movimientos sísmicos como los esperados por medio de su capacidad de disipación de energía, la cual puede ser especial (*DES*), moderada (*DMO*) o mínima (*DMI*); de la altura de la edificación, y de su grado de irregularidad.

**Paso 6 - Grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis** - Definición del procedimiento de análisis sísmico de la estructura de acuerdo con la regularidad o irregularidad de la configuración de la edificación, tanto en planta como en alzado, su altura, las características del suelo en el lugar, y el nivel de amenaza sísmica, siguiendo los preceptos dados en el Capítulo A.3 de este Reglamento.

**Paso 7 - Fuerzas sísmicas** - Obtención de las fuerzas sísmicas,  $F_s$ , que deben aplicarse a la estructura para lo cual deben usarse los movimientos sísmicos de diseño definidos en el paso 4.

**Paso 8 - Análisis sísmico de la estructura** - El análisis sísmico de la estructura se lleva a cabo aplicando los movimientos sísmicos de diseño prescritos, a un modelo matemático apropiado de la estructura, tal como se define en el Capítulo A.3. Este análisis se realiza para los movimientos sísmicos de diseño sin ser divididos por el coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$ , y debe hacerse por el método que se haya definido en el paso 6. Deben determinarse los desplazamientos máximos que imponen los movimientos sísmicos de diseño a la estructura y las fuerzas internas que se derivan de ellos.

**Paso 9 - Desplazamientos horizontales** - Evaluación de los desplazamientos horizontales, incluyendo los efectos torsionales de toda la estructura, y las derivas (desplazamiento relativo entre niveles contiguos), utilizando los procedimientos dados en el Capítulo A.6 y con base en los desplazamientos obtenidos en el paso 8.

**Paso 10 - Verificación de derivas** - Comprobación de que las derivas de diseño obtenidas no excedan los límites dados en el Capítulo A.6. Si la estructura excede los límites de deriva, calculada incluyendo los efectos torsionales de toda la estructura, es obligatorio rigidizarla, llevando a cabo nuevamente los pasos 8, 9 y 10, hasta cuando cumpla la comprobación de derivas.

**Paso 11 – Combinación de las diferentes solicitaciones** – Las diferentes solicitaciones que deben ser tenidas en cuenta, se combinan para obtener las fuerzas internas de diseño de la estructura, de acuerdo con los requisitos del Capítulo B.2 del Reglamento, por el método de diseño propio de cada material estructural. En cada una de las combinaciones de carga requeridas, las solicitaciones se multiplican por el coeficiente de carga prescrito para esa combinación en el Capítulo B.2 del Reglamento. En los efectos causados por el sismo de diseño se tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, lo cual se logra empleando unos efectos sísmicos reducidos de diseño,  $E$ , obtenidos dividiendo las fuerzas sísmicas  $F_s$ , determinadas en el paso 7, por el coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R$  ( $E = F_s / R$ ). El coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$ , es función de:

- (a) el sistema de resistencia sísmica de acuerdo con la clasificación dada en el Capítulo A.3,
- (b) del grado de irregularidad de la edificación, y
- (c) de los requisitos de diseño y detallado de cada material, para el grado de capacidad de disipación de energía correspondiente (*DMI*, *DMO*, o *DES*), tal como se especifica en el Capítulo A.3.

**Paso 12 - Diseño de los elementos estructurales** - Se lleva a cabo de acuerdo con los requisitos propios del sistema de resistencia sísmica y del material estructural utilizado. Los elementos estructurales deben diseñarse y detallarse de acuerdo con los requisitos propios del grado de capacidad de disipación de energía prescrito en el Capítulo A.3, lo cual le permitirá a la estructura responder, ante la ocurrencia de un sismo, en el rango inelástico de respuesta y cumplir con los objetivos de las normas sismo resistentes. El diseño de los elementos estructurales debe realizarse para los valores más desfavorables obtenidos de las combinaciones obtenidas en el paso 11, tal como prescribe el Título B de este Reglamento.

**A.1.3.5 – DISEÑO DE LA CIMENTACION** - Los efectos de las diferentes solicitaciones, incluyendo los efectos de los movimientos sísmicos de diseño sobre los elementos de la cimentación y el suelo de soporte se obtienen así:

- (a) Para efectos del diseño estructural de los elementos que componen la cimentación, se emplean los resultados de las combinaciones realizadas en el paso 11 de A.1.3.4, empleando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas reducidas de diseño,  $E$ , a partir de las reacciones de la estructura sobre estos elementos. En el diseño de los elementos de cimentación deben seguirse los requisitos propios del material estructural y del Título H de este Reglamento.
- (b) Para efectos de obtener los esfuerzos sobre el suelo de cimentación, a partir de las reacciones de la estructura y su cimentación sobre el suelo, se emplean las combinaciones de carga para el método de esfuerzos de trabajo de la sección B.2.3, empleando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas reducidas de diseño,  $E$ . Los efectos sobre el suelo así obtenidos están definidos al nivel de esfuerzos de trabajo y deben evaluarse de acuerdo con los requisitos del Título H de este Reglamento.

**A.1.3.6 – DISEÑO SISMICO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES** - De acuerdo con el grupo de uso al cual pertenezca la edificación se define, siguiendo los requisitos del Capítulo A.9, el grado de desempeño de los elementos no estructurales, como: superior, bueno o bajo. El diseño de los elementos no estructurales debe ser llevado a cabo por cada uno de los diseñadores de los elementos arquitectónicos, hidráulicos, eléctricos y mecánicos, siguiendo los requisitos del Capítulo A.9.

**A.1.3.7 – REVISION DE LOS DISEÑOS** – Los planos, memorias y estudios realizados deben ser revisados para efectos de la obtención de la licencia de construcción tal como lo indica la Ley 400 de 1997. Esta revisión debe ser realizada en la curaduría o en las oficinas o dependencias encargadas de estudiar, tramitar, y expedir la licencias de construcción, o bien por un profesional independiente, a costo de quien solicita la licencia. Los revisores de los diseños deben tener las cualidades establecidas en la Ley 400 de 1997.

**A.1.3.8 – CONSTRUCCION** - La construcción de la estructura, y los elementos no estructurales, de la edificación se realiza de acuerdo con los requisitos propios del material, para el grado de capacidad de disipación de energía para el cual fue diseñada, y bajo una supervisión técnica, cuando así lo exija la Ley 400 de 1997, realizada de acuerdo con los requisitos del Título I. En la construcción deben cumplirse los requisitos dados por el Reglamento para cada material estructural y seguirse los procedimientos y especificaciones dados por los diseñadores. La dirección de la construcción debe ser realizada por un ingeniero civil o arquitecto, o ingeniero mecánico para el caso de estructuras metálicas o prefabricadas, facultados para este fin, de acuerdo con la Ley 400 de 1997.

**A.1.3.9 – SUPERVISION TECNICA** – De acuerdo con el Título V de la Ley 400 de 1997, la construcción de estructuras de edificaciones, o unidades constructivas, que tengan más de 3000 m<sup>2</sup> de área construida, independientemente de su uso, debe someterse a una supervisión técnica realizada de acuerdo con lo establecido en esta sección y en el Título I de este Reglamento.

**A.1.3.9.1 – Edificaciones indispensables y de atención a la comunidad** - De acuerdo con el Artículo 20 de la Ley 400 de 1997, las edificaciones de los grupos de uso **III** y **IV**, independientemente del área que tengan, deben someterse a una Supervisión Técnica.

**A.1.3.9.2 – Edificaciones diseñadas y construidas de acuerdo con el Título E del Reglamento** - De acuerdo con el Parágrafo 1° del Artículo 18 de la Ley 400 de 1997, se excluyen de la obligatoriedad de la supervisión técnica, las estructuras que se diseñen y construyan siguiendo las recomendaciones del Título E, siempre y cuando se trate de menos de 15 unidades de vivienda.

**A.1.3.9.3 – Supervisión técnica exigida por los diseñadores** - De acuerdo con el Parágrafo 2° del Artículo 18 de la Ley 400 de 1997, el diseñador estructural, o el ingeniero geotecnista, de acuerdo con su criterio, pueden requerir supervisión técnica en edificaciones de cualquier área; cuya complejidad, procedimientos constructivos especiales o materiales empleados, la hagan necesaria, consignado este requisito en los planos estructurales o en el estudio geotécnico respectivamente.

**A.1.3.9.4 - Idoneidad del supervisor técnico** - El supervisor técnico debe ser un profesional, ingeniero civil o arquitecto, que cumpla las cualidades exigidas por el Capítulo 5° del Título VI de la Ley 400 de 1997. El profesional, bajo su responsabilidad, puede delegar en personal no profesional algunas de las labores de la supervisión. La supervisión técnica corresponde a una parte de la interventoría y puede ser llevada a cabo por un profesional diferente al interventor.

**A.1.3.9.5 - Alcance de la supervisión técnica** - El alcance de las labores que debe realizar el supervisor técnico están establecidas en el Título I de este Reglamento.

**A.1.3.9.6 - Edificaciones donde no se requiere supervisión técnica** - En aquellas edificaciones donde no se requiera la supervisión técnica, este hecho no exime al constructor de realizar los controles mínimos de calidad de los materiales que el Reglamento requiere para los diferentes materiales estructurales.

**A.1.3.10 - EDIFICACIONES INDISPENSABLES** - Las edificaciones indispensables, pertenecientes al grupo de uso **IV**, tal como las define A.2.5.1.1, deben diseñarse y construirse cumpliendo los requisitos presentados en el procedimiento de diseño definido en A.1.3.2 a A.1.3.8, y además los requisitos adicionales dados en el Capítulo A.12, dentro de los cuales se amplía el Paso 10 de A.1.3.4, exigiendo una verificación de la edificación para los movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño de la edificación.

**A.1.3.11 - CASAS DE UNO Y DOS PISOS** - Las edificaciones de uno y dos pisos deben diseñarse de acuerdo con los Capítulos A.1 a A.13 de este Reglamento. Las casas de uno y dos pisos del grupo de uso **I**, tal como lo define A.2.5.1.4, que no formen parte de programas de más de quince unidades de vivienda ni tengan más de 3000 m<sup>2</sup> de área en conjunto, pueden diseñarse alternativamente de acuerdo con los requisitos del Título E de este Reglamento.

## **A.1.4 - CONSIDERACIONES ESPECIALES**

**A.1.4.1 – POR TAMAÑO Y GRUPO DE USO** - En toda edificación del grupo de uso **I**, como las define A.2.5.1, que tenga más de 3000 m<sup>2</sup> de área en conjunto, o que forme parte de un programa de más de quince unidades de vivienda, y en todas las edificaciones de los grupos de usos **II**, **III** y **IV**, como las define A.2.5.1, deben considerarse los siguientes aspectos especiales en su diseño, construcción y supervisión técnica:

- (a) influencia del tipo de suelo en la respuesta sísmica de las edificaciones,
- (b) potencial de licuación del suelo en el lugar,
- (c) posibilidad de falla de taludes debida al sismo,
- (d) comportamiento en grupo del conjunto ante sollicitaciones sísmicas, eólicas y térmicas de acuerdo con las juntas que tenga el proyecto,



- (e) especificaciones complementarias acerca de la calidad de los materiales a utilizar y del alcance de los ensayos de comprobación técnica de la calidad real de estos materiales,
- (f) verificación de la concepción estructural de la edificación desde el punto de vista de cargas verticales y fuerzas horizontales, y
- (g) obligatoriedad de una supervisión técnica, profesionalmente calificada, de la construcción, según lo requerido en A.1.3.9.

**A.1.4.2 - SISTEMAS PREFABRICADOS** – De acuerdo con lo establecido en el Artículo 12 de la Ley 400 de 1997, se permite el uso de sistemas de resistencia sísmica que estén compuestos, parcial o totalmente, por elementos prefabricados, que no estén cubiertos por este Reglamento, siempre y cuando cumpla uno de los dos procedimientos siguientes:

- (a) se utilicen los criterios de diseño sísmico presentados en A.3.1.7, o
- (b) se obtenga una autorización previa de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, de acuerdo con los requisitos y responsabilidades establecidas en el Artículo 14 de la Ley 400 de 1997.

## **A.1.5 - DISEÑOS, PLANOS, MEMORIAS Y ESTUDIOS**

**A.1.5.1 - DISEÑADOR RESPONSABLE** - La responsabilidad de los diseños de los diferentes elementos que componen la edificación recae en los profesionales bajo cuya dirección se elaboran los diferentes diseños particulares. Se presume que el hecho de que un elemento figure en un plano o memoria de diseño, es porque se han tomado todas las medidas necesarias para cumplir el propósito del Reglamento y por lo tanto el profesional que firma o rotula el plano es el responsable del diseño correspondiente.

**A.1.5.1.1** - Deben consultarse en el Título II de la Ley 400 de 1997, así como en el Capítulo A.13 de este Reglamento, las definiciones de constructor, diseñador arquitectónico, diseñador estructural, ingeniero geotecnista, propietario y supervisor técnico, para efectos de la asignación de las responsabilidades correspondientes.

**A.1.5.1.2** - En aquellos casos en los cuales en los diseños se especifican elementos cuyo suministro e instalación se realiza por parte de su fabricante, el diseñador puede limitarse a especificar en sus planos, memorias o especificaciones, las características que deben cumplir los elementos, y la responsabilidad de que se cumplan estas características recae en el supervisor técnico.

**A.1.5.2 - PLANOS** - Los planos arquitectónicos, estructurales y de elementos no estructurales, que se presenten para la obtención de la licencia de construcción deben ser iguales a los utilizados en la construcción de la obra, y por lo menos una copia debe permanecer en archivo de la Curaduría, departamento administrativo o dependencia distrital o municipal encargada de expedir las licencias de construcción.

**A.1.5.2.1 - Planos estructurales** - Los planos estructurales deben ir firmados o rotulados, con un sello seco, por un ingeniero civil facultado para ese fin y quien obra como diseñador estructural responsable. Los planos estructurales deben contener como mínimo:

- (a) especificaciones de los materiales de construcción que se van a utilizar en la estructura, tales como resistencia del concreto, resistencia del acero, calidad de las unidades de mampostería, tipo de mortero, calidad de la madera estructural, y toda información adicional que sea relevante para la construcción y supervisión técnica de la estructura. Cuando la calidad del material cambie dentro de la misma edificación, debe anotarse claramente cuál material debe usarse en cada porción de la estructura,
- (b) tamaño y localización de todos los elementos estructurales así como sus dimensiones y refuerzo,
- (c) precauciones que se deben tener en cuenta, tales como contraflechas, para contrarrestar cambios volumétricos de los materiales estructurales tales como: cambios por variaciones en la humedad ambiente, retracción de fraguado, flujo plástico o variaciones de temperatura,
- (d) localización y magnitud de todas las fuerzas de preesfuerzo, cuando se utilice concreto preesforzado,
- (e) tipo y localización de las conexiones entre elementos estructurales y los empalmes entre los elementos de refuerzo,

- (f) el grado de capacidad de disipación de energía bajo el cual se diseñó el material estructural del sistema de resistencia sísmica,
- (g) las cargas vivas y de acabados supuestas en los cálculos, y
- (h) el grupo de uso al cual pertenece la edificación.

**A.1.5.2.2 - Planos arquitectónicos y de elementos no estructurales arquitectónicos** - Los planos arquitectónicos deben ir firmados o rotulados, con un sello seco, por un arquitecto facultado para ese fin y quien obra como diseñador arquitectónico responsable. Para efectos del presente Reglamento deben contener el grado de desempeño sísmico de los elementos no estructurales, tal como los define el Capítulo A.9, y además todos los detalles y especificaciones, compatibles con este grado de desempeño, necesarios para garantizar que la construcción pueda ejecutarse y supervisarse apropiadamente. El diseñador de los elementos no estructurales, cuando el diseño sísmico de los elementos no estructurales se realice por un profesional diferente del arquitecto, debe firmar o rotular los planos arquitectónicos generales, además de los de los diseños particulares.

**A.1.5.2.3 - Planos hidráulicos y sanitarios, eléctricos, mecánicos y de instalaciones especiales** - Los planos de instalaciones hidráulicas y sanitarias, eléctricas, mecánicas y de instalaciones especiales, deben ir firmados o rotulados, con un sello seco, por profesionales facultados para ese fin. Para efectos del presente Reglamento deben contener el grado de desempeño de los elementos no estructurales, tal como los define el Capítulo A.9, y además todos los detalles y especificaciones, compatibles con este grado de desempeño, necesarios para garantizar que la construcción pueda ejecutarse y supervisarse apropiadamente.

**A.1.5.3 - MEMORIAS** - Los planos deben ir acompañados por memorias de diseño y cálculo en las cuales se describan los procedimientos por medio de los cuales se realizaron los diseños.

**A.1.5.3.1 - Memorias estructurales** - Los planos estructurales que se presenten para obtener la licencia de construcción deben ir acompañados de la memoria justificativa de cálculos, firmada por el Ingeniero que realizó el diseño estructural. En esta memoria debe incluirse una descripción del sistema estructural usado, y además deben anotarse claramente las cargas verticales, el grado de capacidad de disipación de energía del sistema de resistencia sísmica, el cálculo de la fuerza sísmica, el tipo de análisis estructural utilizado y la verificación de que las derivas máximas no fueron excedidas. Cuando se use un equipo de procesamiento automático de información debe entregarse una descripción de los principios bajo los cuales se realiza el diseño y los datos identificables tanto de entrada al procesador automático como los de salida.

**A.1.5.3.2 - Memorias de otros diseños** - Las justificaciones para el grado de desempeño de los elementos no estructurales deben consignarse en una memoria. Esta memoria debe ser elaborada por el profesional responsable de los diseños, ya sea el arquitecto o el diseñador de los elementos no estructurales, y los diseñadores hidráulicos, eléctricos, mecánicos o de instalaciones especiales.

**A.1.5.4 - ESTUDIO GEOTECNICO** - Para efectos de obtener una licencia de construcción debe presentarse un estudio geotécnico realizado de acuerdo con los requisitos del Título H del presente Reglamento. El estudio geotécnico debe ir firmado por un ingeniero civil facultado para ese fin, y debe hacer referencia a:

- (a) lo exigido en A.1.3.2,
- (b) a la definición de los efectos locales exigida en A.2.4,
- (c) a la obtención de los parámetros del suelo para efectos de la evaluación de la interacción suelo-estructura tal como la define el Capítulo A.7, cuando esta es requerida por el Capítulo A.3, y
- (d) a las demás que exija el Título H.

## **A.1.6 – OBLIGATORIEDAD DE LAS NORMAS TECNICAS CITADAS EN EL REGLAMENTO**

**A.1.6.1- NORMAS NTC** - Las Normas Técnicas Colombianas NTC, citadas en el presente Reglamento, hacen parte de él. Las normas NTC son promulgadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, único organismo nacional de normalización reconocido por el gobierno de Colombia.

**A.1.6.2 - OTRAS NORMAS** - En aquellos casos en los cuales no exista una norma NTC se acepta la utilización de normas de la Sociedad Americana de Ensayo y Materiales (American Society for Testing and Materials - ASTM) o de otras instituciones, las cuales también hacen parte del Reglamento cuando no exista la correspondiente norma NTC.

**A.1.6.3 - REFERENCIAS** – Al lado de las normas NTC se ha colocado entre paréntesis una norma de la ASTM o de otra institución. Esto se hace únicamente como referencia y la norma obligatoria siempre será la norma NTC. Esta norma de referencia corresponde a una norma ASTM, o de otra institución, que es compatible con los requisitos correspondientes del Reglamento, y no necesariamente corresponde a la norma de antecedente de la norma NTC. Las normas de antecedente de las normas NTC son las que se encuentran consignadas en el texto de la misma norma.

## A.1.7 – SISTEMA DE UNIDADES

**A.1.7.1 – SISTEMA METRICO SI** – De acuerdo con lo exigido por el Decreto 1731 de 18 de Septiembre de 1967, el presente Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-98, se ha expedido utilizando el Sistema Internacional de Medidas (SI), el cual es de uso obligatorio en el territorio nacional. Debe consultarse la norma NTC 1000 (ISO 1000), expedida por el ICONTEC, para efectos de la correcta aplicación del Sistema Internacional de Medidas SI. Para efectos de la aplicación práctica del reglamento, se acepta aproximar la aceleración debida a la gravedad a  $10 \text{ m/s}^2$  ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2 \cong 10 \text{ m/s}^2$ ).

**A.1.7.2 – REFERENCIAS AL SISTEMA METRICO mks** – Con el fin de facilitar la transición del sistema de unidades empleado en las antiguas normas sismo resistentes, se han colocado en lugares pertinentes la conversión del sistema de unidades SI al sistema mks (metro-kilogramo fuerza-segundo). La unidades que priman son las unidades del sistema SI y las unidades mks se colocan únicamente como referencia. Se ha colocado un asterisco (\*) en el número de las ecuaciones que producen resultados inconsistentes en el sistema mks, y al final de cada Título hay un apéndice en el cual se relacionan las ecuaciones correspondientes en los dos sistemas de unidades. En general todas las ecuaciones en las cuales se utiliza la raíz cuadrada de un esfuerzo, que por definición sigue teniendo unidades de esfuerzo, como es el caso de  $\sqrt{f_c}$  en concreto reforzado,  $\sqrt{f_m}$  en mampostería reforzada, ó  $\sqrt{F_y}$  en estructuras metálicas, producen resultados inconsistentes si se emplean en esfuerzos expresados en el sistema mks ( $\text{kgf/cm}^2$ ), y solo pueden emplearse con esfuerzos expresados en el Sistema Internacional de Medidas (SI).

**A.1.7.3 – CAPITULOS DEL REGLAMENTO QUE PERMANECEN EN EL SISTEMA METRICO mks** – Los siguientes Capítulos del Título F – Estructuras Metálicas, se han mantenido en la presente versión del Reglamento en el sistema mks. Estos Capítulos serán convertidos al sistema SI en futuras ediciones:

**Capítulo F.4** – *Estructuras de acero hechas con perfiles laminados o miembros armados; diseño para esfuerzos admisibles*

**Capítulo F.5** – *Provisiones sísmicas para edificaciones hechas con perfiles laminados o miembros armados de acero estructural; diseño para esfuerzos admisibles*

**Capítulo F.6** – *Diseño de miembros estructurales de acero formados en frío*

**Capítulo F.7** – *Aluminio estructural, y sus Apéndices F.7-A a F.7-J*

En los Capítulos relacionados anteriormente, las fuerzas están en kgf y los esfuerzos en  $\text{kgf/mm}^2$ . En aquellos términos que se usan en ellos cuya definición está en los Capítulos F.1, F.2 o F.3, (en los cuales se emplea el sistema SI), cuando en estas definiciones se diga N (newtons) debe interpretarse en los Capítulos F.4, F.5, F.6 y F.7 como kgf, cuando allí se diga MPa debe interpretarse en los Capítulos F.4, F.5, F.6 y F.7 como  $\text{kgf/mm}^2$ , y cuando allí se diga N-mm debe interpretarse en los Capítulos F.4, F.5, F.6 y F.7 como kgf-mm.



## CAPITULO A.2 ZONAS DE AMENAZA SISMICA Y MOVIMIENTOS SISMICOS DE DISEÑO

### A.2.0 - NOMENCLATURA

- $A_a$  = coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.  
 $I$  = coeficiente de importancia definido en A.2.5.2  
 $S$  = coeficiente de sitio dado en A.2.4.2.  
 $S_a$  = valor del espectro de aceleraciones de diseño para un período de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un período de vibración  $T$ . Está definido en A.2.6.  
 $T$  = período de vibración del sistema elástico, en segundos.  
 $T_C$  = período de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos, y la parte descendiente del mismo. (Véase A.2.6).  
 $T_L$  = período de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos largos. (Véase A.2.6).

### A.2.1 - GENERAL

**A.2.1.1- MOVIMIENTOS SISMICOS PRESCRITOS** - Para efectos del diseño sísmico de la estructura, ésta debe localizarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica, baja, intermedia o alta, y además deben utilizarse los movimientos sísmicos de diseño definidos en el presente Capítulo, los cuales se pueden expresar por medio del espectro elástico de diseño definido en A.2.6, o por medio de familias de acelerogramas que cumplan los requisitos de A.2.7.

**A.2.1.2 – EFECTOS LOCALES DIFERENTES** - Pueden utilizarse movimientos sísmicos de diseño diferentes a los definidos en el presente Capítulo, si se demuestra que fueron obtenidos utilizando mejor información proveniente de un estudio detallado de propagación de la onda sísmica a través del suelo existente debajo del sitio, o de la incidencia de la topografía del lugar, en los siguientes casos:

**A.2.1.2.1** - Cuando las autoridades municipales o distritales han aprobado un estudio de microzonificación sísmica, realizado de acuerdo con el alcance que fija la sección A.2.9, el cual contenga recomendaciones para el lugar donde se adelantará la edificación, ya sea por medio de unos efectos de sitio o formas espectrales especiales.

**A.2.1.2.2** - Cuando el ingeniero geotecnista responsable del estudio geotécnico de la edificación defina unos efectos locales particulares para el lugar donde se encuentra localizada la edificación, utilizando los requisitos del Apéndice H-1 del Reglamento, o estudios de amplificación de las ondas sísmicas que se realicen de acuerdo con lo prescrito en los ordinales (e) a (i) de la sección A.2.9.3, o estudios especiales referentes a efectos topográficos. Si estos efectos locales particulares se definen utilizando un espectro de diseño, éste debe calcularse para un coeficiente de amortiguamiento igual a 5 por ciento del crítico. Si se definen por medio de familias de acelerogramas, deben cumplirse los requisitos dados en A.2.7.

**A.2.1.3- MOVIMIENTOS SISMICOS DIFERENTES** - Cuando se utilicen movimientos sísmicos de diseño obtenidos a partir de un valor de  $A_a$  diferente del dado en este Reglamento, este valor de  $A_a$ , debe ser aprobado por la oficina o dependencia distrital o municipal encargada de expedir las licencias de construcción, previo concepto de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes.

## A.2.2 - MOVIMIENTOS SISMICOS DE DISEÑO

**A.2.2.1** - Los movimientos sísmicos de diseño se definen, para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años, en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro  $A_a$ . El valor de este coeficiente, para efectos de este Reglamento, debe determinarse de acuerdo con A.2.2.2 y A.2.2.3.

**A.2.2.2** - Se determina el número de la región en donde está localizada la edificación usando para  $A_a$  el Mapa de la figura A.2-2.

**A.2.2.3** - El valor de  $A_a$  se obtiene de la tabla A.2-1, en función del número de la región determinado en A.2.2.2, para las ciudades capitales de departamento del país utilizando la tabla A.2-2, y para todos los municipios del país en el Apéndice A-3, incluido al final del presente Título.

## A.2.3 - ZONAS DE AMENAZA SISMICA

La edificación debe localizarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica que se definen en esta sección y que están localizadas en el Mapa de la figura A.2-1.

**A.2.3.1 - ZONA DE AMENAZA SISMICA BAJA** - Es el conjunto de lugares en donde  $A_a$  es menor o igual a 0.10.

**A.2.3.2 - ZONA DE AMENAZA SISMICA INTERMEDIA** - Es el conjunto de lugares en donde  $A_a$  es mayor de 0.10 y no excede 0.20.

**A.2.3.3 - ZONA DE AMENAZA SISMICA ALTA** - Es el conjunto de lugares en donde  $A_a$  es mayor que 0.20.

**TABLA A.2-1**  
**VALOR DE  $A_a$  Y NIVEL DE AMENAZA SISMICA**  
**SEGUN LA REGION DEL MAPA DE LA FIGURA A.2-2**

Región N°	$A_a$	Amenaza Sísmica
10	0.45	Alta
9	0.40	Alta
8	0.35	Alta
7	0.30	Alta
6	0.25	Alta
5	0.20	Intermedia
4	0.15	Intermedia
3	0.10	Baja
2	0.075	Baja
1	0.05	Baja

**TABLA A.2-2**  
**VALOR DE  $A_a$  PARA LAS CIUDADES CAPITALES DE DEPARTAMENTO**

Ciudad	$A_a$	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	Alta
Cali	0.25	Alta
Cartagena	0.10	Baja
Cúcuta	0.30	Alta
Florencia	0.20	Intermedia
Ibagué	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	Baja

Manizales	0.25	Alta
Medellín	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	Baja
Mocoa	0.30	Alta
Montería	0.15	Intermedia
Neiva	0.30	Alta
Pasto	0.30	Alta
Pereira	0.25	Alta
Popayán	0.25	Alta
Puerto Carreño	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	Baja
Quibdó	0.30	Alta
Riohacha	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	Intermedia
San José del Guaviare	0.10	Baja
Sincelejo	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	Baja
Villavicencio	0.30	Alta
Yopal	0.20	Intermedia

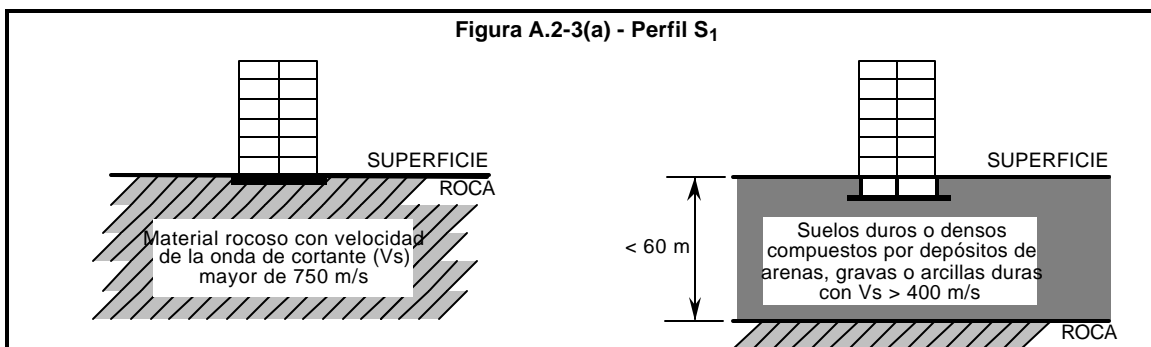
## A.2.4 - EFECTOS LOCALES

En esta sección se dan los tipos de perfil de suelo y los valores del coeficiente de sitio. El perfil de suelo debe ser determinado por el ingeniero geotecnista a partir de unos datos geotécnicos debidamente sustentados. En los sitios en donde las propiedades de los suelos no sean conocidas con suficiente detalle, debe usarse el tipo de perfil  $S_3$ .

**A.2.4.1 - TIPOS DE PERFIL DE SUELO** - Los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben evaluarse con base en los perfiles de suelo dados a continuación, independientemente del tipo de cimentación empleado (Véase la figura A.2-3). La identificación del perfil de suelo se realiza a partir de la superficie del terreno. Cuando existan sótanos, o en edificio en ladera, el ingeniero geotecnista, de acuerdo con el tipo de cimentación propuesta, puede variar el punto a partir del cual se inicia la definición del perfil, por medio de un estudio acerca de la interacción que pueda existir entre la estructura de contención y el suelo circundante; pero en ningún caso este punto puede estar por debajo de la losa sobre el terreno del sótano inferior (Véase A.2.4.1.6).

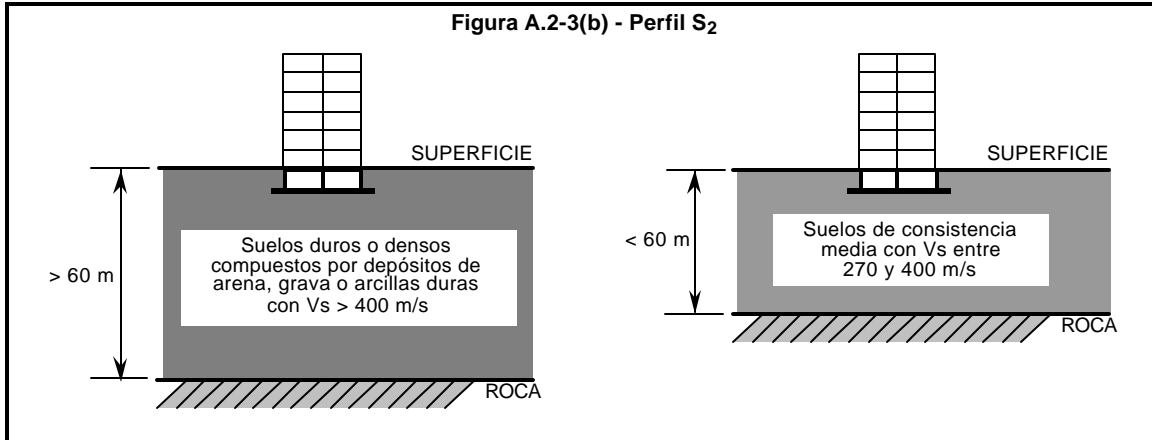
**A.2.4.1.1 - Perfil de suelo  $S_1$**  - Es un perfil que tiene las siguientes propiedades:

- (a) está compuesto, hasta la superficie, por roca de cualquier característica, que tiene una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 750 metros por segundo, o
- (b) perfiles que entre la roca y la superficie están conformados por suelos duros, o densos, con un espesor menor de 60 m, compuestos por depósitos estables de arenas, gravas o arcillas duras, con una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 400 m/seg.

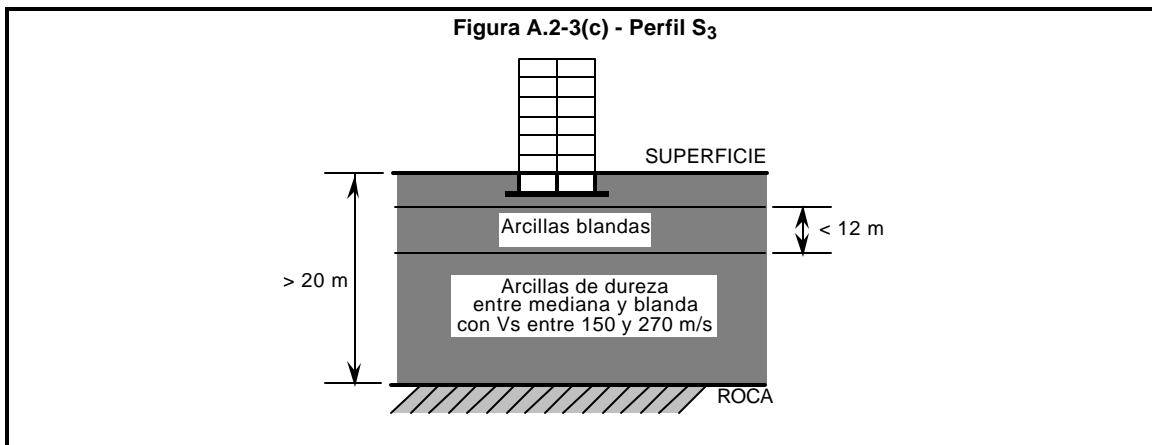


**A.2.4.1.2 - Perfil de suelo  $S_2$**  - Es un perfil que tiene las siguientes propiedades:

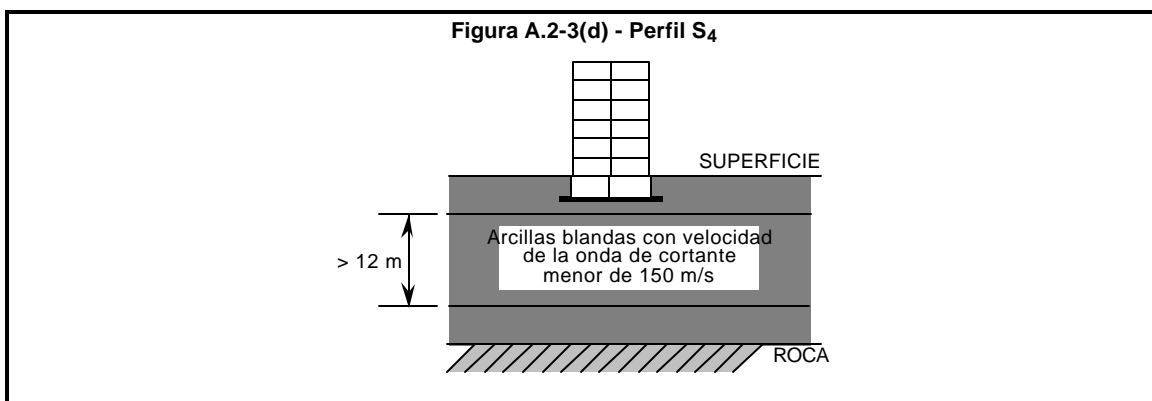
- (a) perfiles en donde entre la roca y la superficie existen más de 60 m de depósitos estables de suelos duros, o densos, compuestos por depósitos estables de arcillas duras o suelos no cohesivos, con una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 400 m/s, o
- (b) perfiles en donde entre la roca y la superficie existen menos de 60 m de depósitos estables de suelos de consistencia media compuestos por materiales con una velocidad de la onda de cortante cuyo valor está entre 270 y 400 m/seg.



**A.2.4.1.3 - Perfil de suelo  $S_3$**  - Es un perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 20 m de suelo que contiene depósitos estables de arcillas cuya dureza varía entre mediana y blanda, con una velocidad de la onda de cortante entre 150 y 270 m/s, y que dentro de ellos, en conjunto, hay menos de 12 m de arcillas blandas.



**A.2.4.1.4 - Perfil de suelo  $S_4$**  - Es un perfil en donde, dentro de los depósitos existentes entre la roca y la superficie hay más de 12 m de arcillas blandas, caracterizadas por una velocidad de la onda de cortante menor de 150 m/seg.





**A.2.4.1.5 – Procedimiento alternativo** – Se permite emplear el procedimiento alternativo para determinar los efectos locales presentado en el Apéndice H1 del Reglamento. Cuando se emplee este procedimiento alternativo, debe utilizarse el espectro de diseño dado allí.

**A.2.4.1.6 - Estabilidad del depósito de suelo** - Los perfiles de suelo presentados en A.2.4.1.2 a A.2.4.1.5 hacen referencia a depósitos estables de suelo. Cuando exista la posibilidad de que el depósito no sea estable, especialmente ante la ocurrencia de un sismo, como puede ser en sitios en ladera o en sitios con suelos potencialmente licuables, no deben utilizarse las definiciones dadas y hay necesidad de realizar una investigación geotécnica que identifique la estabilidad del depósito, además de las medidas correctivas, si son posibles, que se deben tomar para poder adelantar una construcción en el lugar. El estudio geotécnico debe indicar claramente las medidas correctivas y el coeficiente de sitio que se debe utilizar en el diseño, dado que se lleven a cabo las medidas correctivas planteadas. La construcción de edificaciones en el sitio no puede adelantarse sin tomar medidas correctivas, cuando éstas sean necesarias.

**A.2.4.1.7 - Perfiles provenientes de estudios de microzonificación** - Cuando se hayan realizado estudios de microzonificación, de acuerdo con los requisitos de A.2.9, pueden utilizarse los resultados de ésta, así como los valores del coeficiente de sitio, dados en ella, en vez de los presentados en esta sección.

**A.2.4.2 - COEFICIENTE DE SITIO** - Para tomar en cuenta los efectos locales se utiliza el coeficiente S cuyos valores se dan en la tabla A.2-3.

**TABLA A.2-3  
VALORES DEL COEFICIENTE DE SITIO, S**

Tipo de Perfil de Suelo	Coficiente de Sitio, S
S <sub>1</sub>	1.0
S <sub>2</sub>	1.2
S <sub>3</sub>	1.5
S <sub>4</sub>	2.0

## A.2.5 - COEFICIENTE DE IMPORTANCIA

En esta sección se definen los grupos de tipo de uso y los valores del coeficiente de importancia.

**A.2.5.1 - GRUPOS DE USO** - Todas las edificaciones deben clasificarse dentro de uno de los siguientes Grupos de Uso:

**A.2.5.1.1 - Grupo IV - Edificaciones indispensables** – Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alternativo. Este grupo debe incluir:

- (a) Hospitales de niveles de complejidad 2 y 3, de acuerdo con la clasificación del Ministerio de Salud, y clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía y atención de urgencias,
- (b) edificaciones de centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión,
- (c) edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos, y
- (d) en las edificaciones indispensables las estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares, a estas edificaciones.

**A.2.5.1.2 - Grupo III - Edificaciones de atención a la comunidad** - Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el Grupo IV. Este grupo debe incluir:

- (a) estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres,

- (b) garajes de vehículos de emergencia,
- (c) estructuras y equipos de centros de atención de emergencias, y
- (d) aquellas otras que la administración municipal designe como tales.

**A.2.5.1.3 - Grupo II - Estructuras de ocupación especial** - Cubre las siguientes estructuras:

- (a) edificaciones en donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón,
- (b) guarderías, escuelas, colegios, universidades,
- (c) graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez,
- (d) almacenes y centros comerciales con más de 500 m<sup>2</sup> por piso,
- (e) edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas, y
- (f) edificios gubernamentales.

**A.2.5.1.4 - Grupo I - Estructuras de ocupación normal** - Todas la edificaciones cubiertas por el alcance de este Reglamento, pero que no se han incluido en los Grupos II, III y IV.

**A.2.5.2 - COEFICIENTE DE IMPORTANCIA** - El Coeficiente de Importancia, **I**, modifica el espectro de acuerdo con el grupo de uso a que esté asignada la edificación. Los valores de **I** se dan en la tabla A.2-4.

**TABLA A.2-4  
VALORES DEL COEFICIENTE DE IMPORTANCIA, I**

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.3
III	1.2
II	1.1
I	1.0

## A.2.6 - ESPECTRO DE DISEÑO

**A.2.6.1** - La forma del espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de cinco por ciento (5%), que se debe utilizar en el diseño, se da en la figura A.2-4 y se define por medio de la ecuación A.2-1, con las limitaciones dadas en A.2.6.2 a A.2.6.4. Véase también A.2.4.1.5.

$$S_a = \frac{1.2A_a SI}{T} \quad (\text{A.2-1})$$

**A.2.6.2** - Para períodos de vibración menores de  $T_C$ , calculado de acuerdo con la ecuación A.2-2, el valor de  $S_a$  puede limitarse al obtenido de la ecuación A.2-3.

$$T_C = 0.48 S \quad (\text{A.2-2})$$

y

$$S_a = 2.5 A_a I \quad (\text{A.2-3})$$

**A.2.6.3** - Para períodos de vibración mayores que  $T_L$ , calculados de acuerdo con la ecuación A.2-4, el valor de  $S_a$  no puede ser menor que el dado por la ecuación A.2-5.

$$T_L = 2.4 S \quad (\text{A.2-4})$$

y

$$S_a = \frac{A_a I}{2} \quad (\text{A.2-5})$$

**A.2.6.4** - Cuando se utilice el análisis dinámico, tal como se define en el Capítulo A.5, para períodos de vibración diferentes del fundamental, en la dirección en estudio, menores de  $T_0$  ( $T_0 = 0.3$  segundos), el espectro de diseño puede obtenerse de la ecuación A.2-6.

$$S_a = A_a I (1.0 + 5.0 T) \quad (\text{A.2-6})$$

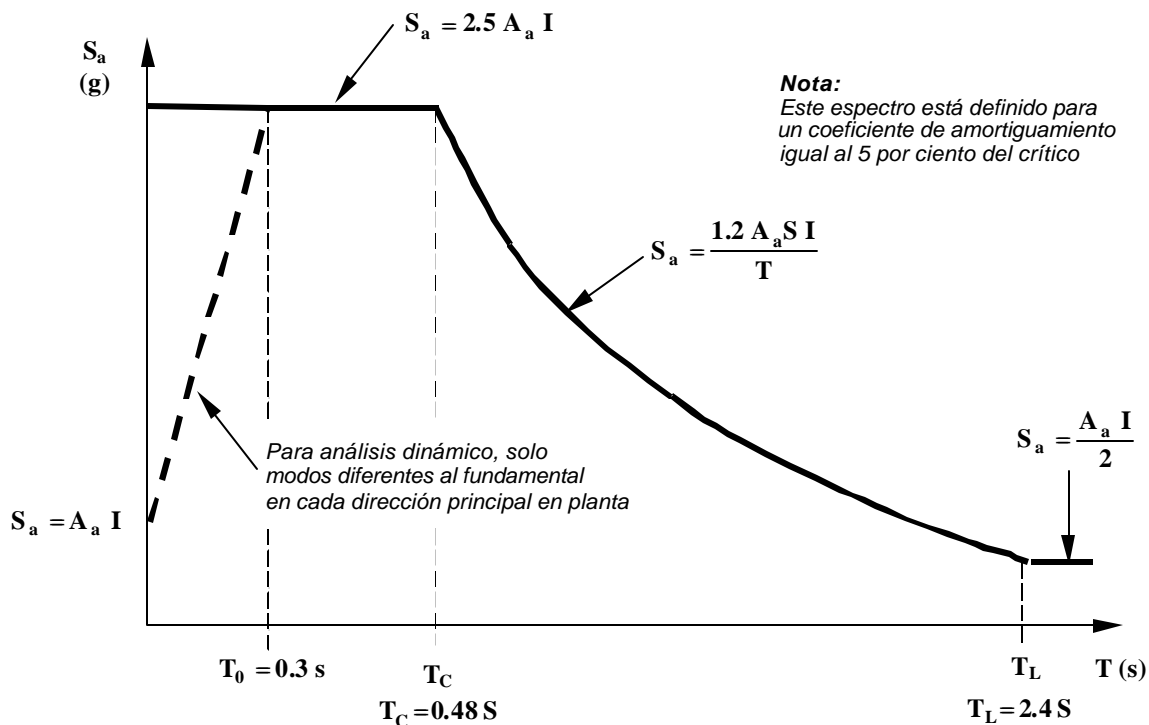


Figura A.2-4 - Espectro Elástico de Diseño

## A.2.7 - FAMILIAS DE ACELEROGRAMAS

**A.2.7.1** - Cuando se empleen procedimientos de análisis dinámico consistentes en evaluaciones contra el tiempo, obtenidas integrando paso a paso la ecuación de movimiento, los acelerogramas que se utilicen deben cumplir los siguientes requisitos:

- (a) deben utilizarse, para efectos de diseño, la respuesta ante un mínimo de tres acelerogramas diferentes, todos ellos representativos de los movimientos esperados del terreno, pero que cumplan la mayor gama de frecuencias y amplificaciones posible,
- (b) los espectros de respuesta de los acelerogramas empleados no pueden tener individualmente ordenadas espectrales, para cualquier período de vibración, menores que el 80% de las ordenadas espectrales del movimiento esperado del terreno definidas en A.2.6, exceptuando los requisitos de A.2.6.3.

## A.2.8 - COMPONENTE VERTICAL DE LOS MOVIMIENTOS SÍSMICOS

**A.2.8.1** - Cuando se necesite utilizar la componente vertical de los movimientos sísmicos de diseño en el procedimiento de análisis dinámico, ésta puede tomarse como las dos terceras partes de los valores correspondientes a los efectos horizontales, ya sea en el espectro de diseño, o en las familias de acelerogramas. (Véase A.5.4.6).

## A.2.9 - ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION

**A.2.9.1** – Cuando se adelanten estudios de microzonificación sísmica que cumplan con el alcance dado en la sección A.2.9.3, las autoridades municipales o distritales, están facultadas para expedir una reglamentación substitutiva de carácter obligatorio, que reemplace lo indicado en las secciones A.2.4 y A.2.6 del presente Reglamento.

**A.2.9.2** - Las capitales de departamento y las ciudades de más de 100 000 habitantes, localizadas en las zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, con el fin de tener en cuenta el efecto que sobre las construcciones tenga la

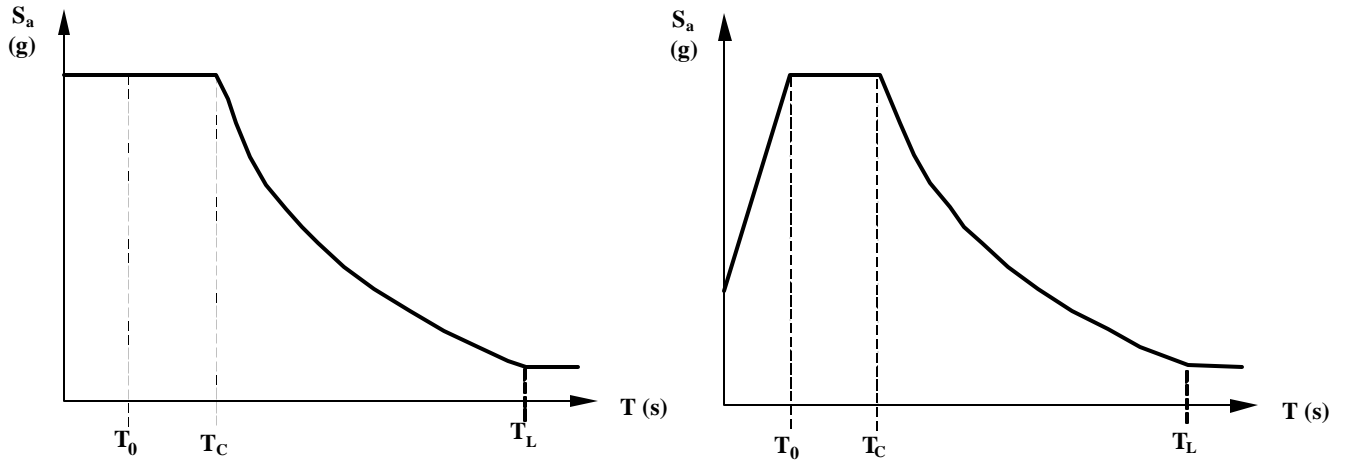
propagación de la onda sísmica a través de los estratos de suelo subyacentes, podrán armonizar las reglamentaciones municipales de ordenamiento del uso de la tierra, con un estudio o estudios de microzonificación sísmica, que cumpla con el alcance dado en la sección A.2.9.3.

**A.2.9.3** - El alcance del estudio de microzonificación debe cubrir, como mínimo, los siguientes temas:

- (a) un estudio geológico regional con especial énfasis en la neotectónica regional en el cual se identifiquen las fallas geológicas existentes en la zona,
- (b) recopilación de la información sobre la sismicidad regional,
- (c) una evaluación de la máxima aceleración horizontal efectiva para una probabilidad de excedencia de 10 por ciento en un lapso de 50 años, con un cubrimiento por incertidumbre en la determinación de la máxima aceleración horizontal efectiva, no menor del 90 por ciento,
- (d) opcionalmente, cuando una falla geológica, que el estudio de neotectónica haya definido como activa, esté localizada a menos de cinco km del área que se está microzonificando, ésta puede investigarse por medio de trincheras sísmicas con el fin de intentar establecer los períodos de recurrencia de su actividad y este dato incorporarse en la determinación del valor de la máxima aceleración horizontal efectiva,
- (e) aspectos geotécnicos y geológicos locales, referentes a la posición y espesores de la estratificación dominante y la profundidad de la roca base,
- (f) estudio de clasificación y características de los suelos, identificando la presencia de suelos granulares saturados y poco compactos, con el fin de establecer la susceptibilidad a la licuación, la cual como mínimo, se debe identificar por medio de correlaciones con el ensayo de penetración estándar,
- (g) en zonas de ladera, mediante la evaluación de las condiciones naturales de origen geológico, morfológico y geotécnico, establecer la amenaza potencial de movimientos de masa iniciados por el sismo (debe consultarse A.2.4.1.6),
- (h) estudios del comportamiento del módulo dinámico de cortante y la capacidad de amortiguamiento histerético de muestras inalteradas representativas del subsuelo en cuestión; para estos se pueden emplear técnicas tales como ensayos triaxiales cíclicos, estudios de muestras de columna resonante, métodos torsionales u otros que estén respaldados por resultados apropiados,
- (i) análisis de la respuesta dinámica del subsuelo, empleando en principio la propagación ondulatoria unidimensional, pero soportada por los estudios geotécnicos anotados. De estos estudios se deben deducir los correspondientes espectros que incluyan la amplificación local para que, mediante un análisis cualitativo apropiado, se puedan establecer factores de amplificación dominantes del subsuelo y para las estratigrafías identificadas,
- (j) síntesis de los resultados mediante la agrupación en zonas cuyas características sean similares, a las cuales se les pueda aplicar los valores de amplificación promedio deducidos, estableciendo coeficientes de sitio,  $S$ , para cada una de ellas, o valores de  $F_a$  y  $F_v$ , tal como los define el Apéndice H-1,
- (k) en lo posible, comprobación experimental local de los resultados mediante estudios de respuesta de vibración ambiental, con el fin de establecer la concordancia entre los resultados experimentales y los factores de amplificación obtenidos en (i),
- (l) definición de los criterios a emplear en las zonas de transición entre un tipo de comportamiento del suelo y otro,
- (m) estudio de los efectos de amplificación generados por accidentes topográficos como pueden ser las laderas y colinas aisladas, y
- (n) síntesis de los resultados mediante el establecimiento de zonas menores, las cuales conforman la microzonificación, cuya respuesta dinámica sea sensiblemente similar. Debe ejercerse el mayor criterio en la selección de las dimensiones de las microzonas.

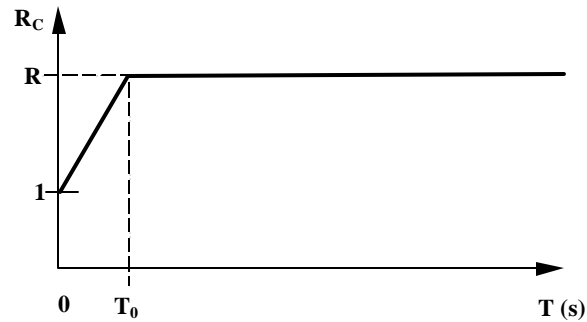
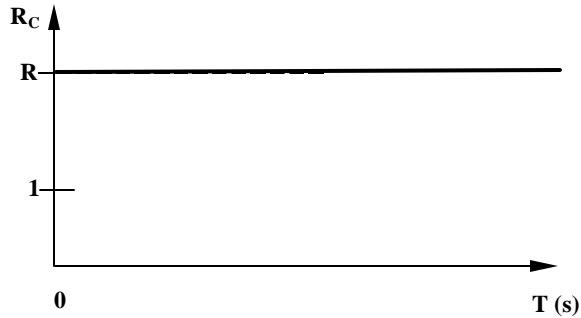
**A.2.9.4 – EMPLEO DEL COEFICIENTE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA,  $R$**  – Cuando en el estudio de microzonificación se propongan espectros que tiendan a la aceleración del terreno cuando el período de vibración tiende a cero, el coeficiente de disipación de energía,  $R_C$ , a emplear en el diseño de la estructura cuando se utiliza este tipo de espectros, el cual tiene un valor variable en la zona de períodos cortos, iniciando en el valor prescrito en el Capítulo A.3,  $R$  ( $R = f_a f_p R_0$ ), para un período igual a  $T_0$  y tendiendo a la unidad cuando el período tiende a cero, como muestra la Figura A.2-5. El valor de  $R_C$  está descrito por la ecuación A.2-7:

$$R_C = (R - 1) \frac{T}{T_0} + 1 \quad \text{(A.2-7)}$$



*Espectro de la Norma - Capítulo A.2*

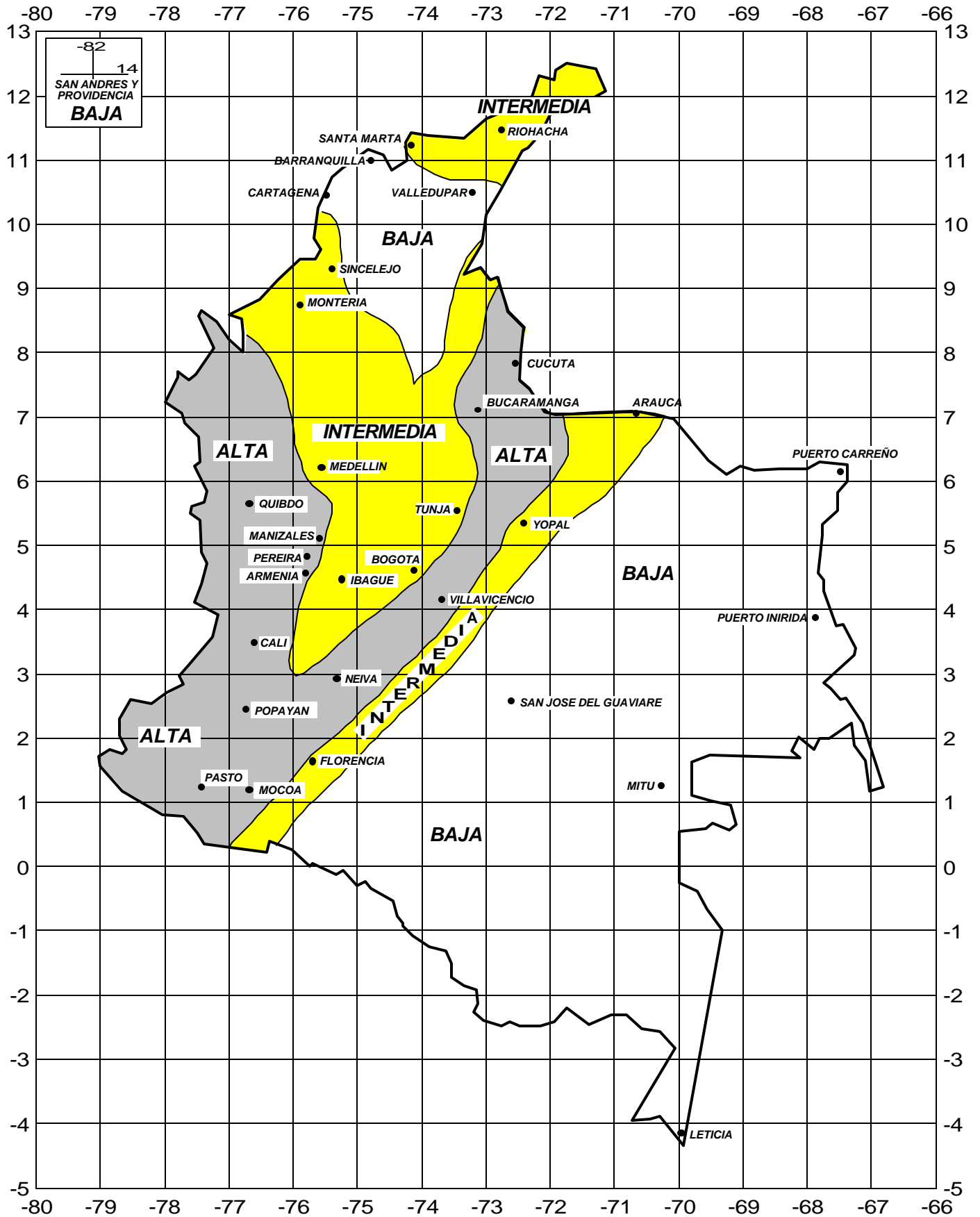
*Espectro de la microzonificación*



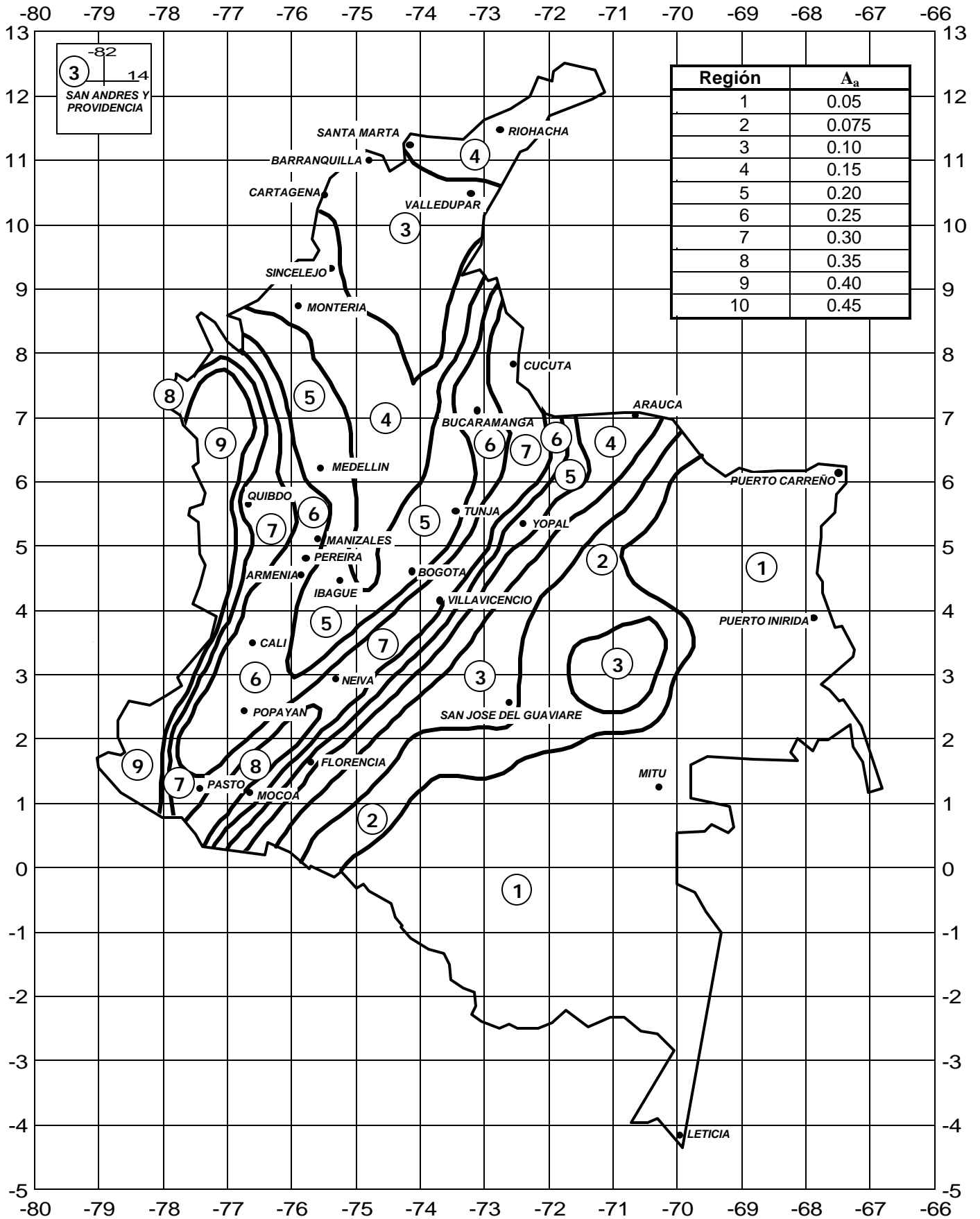
*Variación de R para el espectro de la Norma del Capítulo A.2*

*Variación de R para el espectro de la microzonificación*

**Figura A.2-5 – Variación del coeficiente de disipación de energía R**



ZONAS DE AMENAZA SISMICA  
Figura A.2-1



MAPA DE VALORES DE  $A_a$

Figura A.2-2





## CAPITULO A.3

### REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

#### A.3.0 – NOMENCLATURA

$A_a$	=	coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.
$A_x$	=	coeficiente de amplificación de la torsión accidental en el nivel $x$ , definido en A.3.6.7.
$E$	=	fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E = F_s / R$ )
$F_i$	=	parte del cortante sísmico en la base que se genera en el nivel $i$ , véase A.3.6.6.
$F_{px}$	=	fuerza horizontal sobre el diafragma del piso $x$ , véase A.3.6.8.
$F_s$	=	fuerzas sísmicas, véase A.3.1.1.
$g$	=	aceleración debida a la gravedad ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).
$I$	=	coeficiente de importancia dado en A.2.5.2.
$M$	=	masa total de la edificación - $M$ se expresa en kg. Debe ser igual a la masa total de la estructura más la masa de aquellos elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos o bodegas debe incluirse además un 25 por ciento de la masa correspondiente a los elementos que causan la carga viva del piso. Capítulos A.4 y A.5.
$M_p$	=	masa de un elemento o componente, en kg.
$m_i$	=	parte de $M$ que está colocada en el nivel $i$ , en kg. Véase A.4.5.
$m_{px}$	=	masa del diafragma y de los elementos adheridos a él en el nivel $x$ , en kg. Véase A.3.6.8.
$R_0$	=	coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural. Véase el Capítulo A.3.
$R$	=	coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ( $R = f_a f_p R_0$ ). Véase el Capítulo A.3.
$V_x$	=	fuerza cortante sísmica en el nivel $x$ . Véase A.3.6.6.
$d_{max}$	=	desplazamiento horizontal máximo en el nivel $x$ . Véase A.3.6.
$d_{prom}$	=	promedio de los desplazamientos horizontales en puntos extremos de la estructura en el nivel $x$ . Véase A.3.6.
$f_a$	=	coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en altura de la edificación. Véase A.3.3.3.
$f_p$	=	coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en planta de la edificación. Véase A.3.3.3.

#### A.3.1 - BASES GENERALES DE DISEÑO SISMO RESISTENTE

**A.3.1.1 - PROCEDIMIENTO DE DISEÑO** - En A.1.3 se establecen los pasos que se deben seguir en el diseño sismo resistente de una edificación. En el Capítulo A.2 se establecen los movimientos sísmicos de diseño. En el presente Capítulo se establecen los tipos de sistemas estructurales de resistencia sísmica, y los diferentes métodos de análisis, los cuales dependen del grado de irregularidad del sistema estructural y, además, permiten determinar el cortante sísmico en la base y su distribución en la altura de la edificación. Determinadas las fuerzas sísmicas correspondientes a cada nivel, se aplican al sistema estructural de resistencia sísmica escogido. Por medio de un modelo matemático apropiado se determinan las deflexiones de la estructura y las fuerzas internas en cada elemento del sistema estructural producidas por las fuerzas sísmicas. La verificación de derivas se realiza para las deflexiones horizontales de la estructura obtenidas del análisis. Finalmente se efectúa el diseño de los elementos y sus conexiones utilizando todas las sollicitaciones requerida por el Título B del Reglamento, debidamente combinadas según se exige allí. Las fuerzas sísmicas obtenidas del análisis  $F_s$ , se reducen, dividiéndolas por el coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$ , correspondiente al sistema estructural de resistencia sísmica, para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E = F_s / R$ ) que se emplean en las combinaciones de carga prescritas en el Título B. El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico,  $R_0$ , multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ( $R = f_a f_p R_0$ ). El diseño de los elementos estructurales y sus conexiones se realiza cumpliendo los requisitos exigidos para el grado de capacidad de disipación de energía requerido del material. Estas fuerzas de diseño de los elementos estructurales obtenidas siguiendo el procedimiento anotado, son fuerzas al nivel de resistencia, o sea que corresponden a fuerzas mayoradas que ya han sido multiplicadas por sus coeficientes de carga. Para elementos que se diseñan utilizando el método de esfuerzos de trabajo, debe consultarse A.3.1.8.

**A.3.1.2 - CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURACION** - El sistema de resistencia sísmica de la edificación debe clasificarse dentro de uno de los sistema estructurales dados en A.3.2 y debe cumplir los requisitos indicados en el presente Título A del Reglamento y los propios del material estructural que se indiquen en el Título correspondiente y para el grado de disipación de energía en el rango inelástico apropiado. Los efectos sísmicos sobre los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica deben evaluarse siguiendo los requisitos del Capítulo A.8. Los efectos sísmicos sobre los elementos no estructurales deben evaluarse siguiendo los requisitos del Capítulo A.9.

**A.3.1.3 - CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA MINIMA REQUERIDA** - Dependiendo del tipo de material estructural y de las características del sistema de resistencia sísmica se establecen los grados de capacidad de disipación de energía mínimos (*DES*, *DMO*, o *DMI*) que debe cumplir el material estructural en las diferentes zonas de amenaza sísmica definidas en el Capítulo A.2. Véanse las tablas A.3-1 a A.3-4.

**A.3.1.4 - RESISTENCIA SISMICA EN LAS DIFERENTES DIRECCIONES HORIZONTALES** - Dado que los efectos sísmicos pueden ser preponderantes en cualquier dirección horizontal, la estructura debe tener resistencia sísmica en todas las direcciones y por lo tanto el sistema estructural de resistencia sísmica debe existir en dos direcciones ortogonales o aproximadamente ortogonales, de tal manera que se garantice la estabilidad, tanto de la estructura considerada como un todo, como de cada uno de sus elementos, ante movimientos sísmicos que puedan ocurrir en cualquier dirección horizontal.

**A.3.1.5 - TRAYECTORIA DE LAS FUERZAS** - Las fuerzas deben transferirse desde su punto de aplicación hasta su punto final de resistencia. Por lo tanto debe proveerse una trayectoria o trayectorias continuas, con suficiente resistencia y rigidez para garantizar el adecuado traspaso de las fuerzas. La cimentación debe diseñarse para los efectos de las fuerzas y movimientos sísmicos.

**A.3.1.6 - SISTEMAS DE RESISTENCIA SISMICA ISOSTATICOS** - En lo posible el sistema estructural de resistencia sísmica debe ser hiperestático. En el diseño de edificaciones donde el sistema de resistencia sísmica no sea hiperestático, debe tenerse en cuenta el efecto adverso que implicaría la falla de uno de los miembros o conexiones en la estabilidad de la edificación.

**A.3.1.7 - SISTEMAS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA SISMICA PREFABRICADOS** - Pueden construirse edificaciones cuyo sistema de resistencia sísmica esté compuesto por elementos prefabricados. El sistema prefabricado debe diseñarse para las fuerzas sísmicas obtenidas de acuerdo con este Reglamento usando un coeficiente de capacidad de disipación de energía básico, tal como lo define el Capítulo A.13 igual a uno y medio ( $R_0 = 1.5$ ). Cuando se demuestre con evidencia experimental y de análisis, que el sistema propuesto tiene una resistencia, capacidad de disipación de energía y capacidad de trabajo en el rango inelástico igual o mayor a las obtenidas con la estructura construida utilizando uno de los materiales prescritos por este Reglamento, deben cumplirse los requisitos de los Artículos 10 y 12 de la Ley 400 de 1997, pero en ningún caso el valor de  $R_0$  podrá ser mayor que el fijado por el presente Reglamento para sistemas de resistencia sísmica contruidos monolíticamente con el mismo material estructural. Al respecto debe consultarse A.1.4.2.

**A.3.1.8 - MATERIALES ESTRUCTURALES DISEÑADOS USANDO EL METODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO** - Cuando el material estructural se diseña utilizando el método de esfuerzos de trabajo, tal como lo define B.2.3 de este Reglamento, para obtener los efectos de las fuerzas sísmicas reducidas de diseño al nivel de esfuerzos de trabajo que se emplean en el diseño de los elementos estructurales debe utilizarse un coeficiente de carga de **0.7** como lo presenta B.2.3.

## **A.3.2 - SISTEMAS ESTRUCTURALES**

**A.3.2.1 - TIPOS DE SISTEMAS ESTRUCTURALES** - Se reconocen cuatro tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica, los cuales se definen en esta sección. Cada uno de ellos se subdivide según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural empleado. Los sistemas estructurales de resistencia sísmica que reconoce este Reglamento son los siguientes:

**A.3.2.1.1 - Sistema de muros de carga** - Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales. Véase la tabla A.3-1.

**A.3.2.1.2 - Sistema combinado** - Es un sistema estructural, (véase la tabla A.3-2), en el cual:

- (a) las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o
- (b) las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual.

**A.3.2.1.3 - Sistema de pórtico** - Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales. Véase la tabla A.3-3.

**A.3.2.1.4 - Sistema dual** - Es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Véase la tabla A.3-4. Para que el sistema estructural se pueda clasificar como sistema dual se deben cumplir los siguientes requisitos:

- (a) El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales.
- (b) Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos, el cual puede ser un pórtico de capacidad especial de disipación de energía (*DES*), cuando se trata de concreto reforzado o acero estructural, un pórtico con capacidad moderada de disipación de energía (*DMO*) de concreto reforzado, o un pórtico con capacidad mínima de disipación de energía (*DMI*) de acero estructural. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para que sea capaz de resistir como mínimo el 25 por ciento del cortante sísmico en la base.
- (c) Los dos sistemas deben diseñarse de tal manera que en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante sísmico en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación, pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales, o de los pórticos con diagonales, puede ser menor del 75 por ciento del cortante sísmico en la base.

**A.3.2.2 - CLASIFICACION EN UNO DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES** - Toda edificación o cualquier parte de ella, debe quedar clasificada dentro de uno de los cuatro sistemas estructurales de resistencia sísmica descritos en las tablas A.3-1 a A.3-4.

**A.3.2.3 - LIMITES DE ALTURA PARA LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES** - En las tablas A.3-1 a A.3-4 se dan las alturas máximas, medidas en metros a partir de la base o en número de pisos por encima de la misma, que puede tener cada uno de los sistemas estructurales de resistencia sísmica prescritos, para cada una de las zonas de amenaza sísmica.

**A.3.2.4 - COMBINACION DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN LA ALTURA** - Cuando se combinen en la altura diferentes sistemas estructurales dentro de una misma edificación, deben cumplirse los siguientes requisitos:

**A.3.2.4.1 - Mínimo valor de R** - Con la excepción de lo dispuesto en A.3.2.4.2 a A.3.2.4.4, la estructura se clasifica con irregularidad del tipo 5A (tabla A.3-7), y el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía, **R**, en cualquier dirección y en cualquier nivel, debe ser el menor valor de **R** de los sistemas estructurales que se estén combinando por encima de ese nivel y en la dirección considerada. Deben cumplirse los requisitos de diseño exigidos para cada sistema estructural y para cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural.

**A.3.2.4.2 - Pisos livianos** - No hay necesidad de aplicar los requisitos de A.3.2.4.1 cuando la masa de los pisos localizados por encima del nivel donde se inicia un sistema estructural sea menor del 10 por ciento de la masa total, **M**, de la edificación.

**A.3.2.4.3 - Estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez** - En estructuras que tengan una parte superior flexible apoyada en una con mayor rigidez y que cumplan los requisitos de la tabla A.3-5, puede utilizarse el procedimiento de diseño indicado allí.

**A.3.2.4.4 - Estructura rígida apoyada sobre una estructura con menor rigidez** - Este tipo de combinación de sistemas estructurales en la altura presenta inconvenientes en su comportamiento sísmico. En aquellos

casos en que se tenga que recurrir a este tipo de combinación, deben cumplirse los requisitos de la tabla A.3-5.

**A.3.2.5 - COMBINACION DE SISTEMAS ESTRUCTURALES EN PLANTA** - Pueden combinarse sistemas estructurales en planta, sin que esto de pie a que la estructura se clasifique como irregular, con las siguientes limitaciones:

- (a) los dos sistemas deben coexistir en toda la altura de la edificación, a menos que se cumplan los requisitos de A.3.2.4,
- (b) cuando la estructura tiene un sistema de muros de carga únicamente en una dirección, el valor de **R** para diseñar la dirección ortogonal, no puede ser mayor que 1.25 veces el valor de **R** del sistema estructural de muros de carga, y
- (c) cuando la estructura tiene sistemas diferentes al de muros de carga en ambas direcciones, para el sistema que tiene un mayor valor de **R**, el valor a emplear no puede ser mayor que 1.25 veces el valor de **R** del sistema con el menor valor de **R**.

**A.3.2.6 - ELEMENTOS COMUNES A VARIOS SISTEMAS ESTRUCTURALES** - Los elementos estructurales comunes a diferentes sistemas estructurales deben diseñarse y detallarse siguiendo los requisitos más restrictivos dentro de los sistemas para los cuales son comunes.

### A.3.3 - CONFIGURACION ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACION

**A.3.3.1 - GENERAL** - Para efectos de diseño sísmico la edificación debe clasificarse como regular o como irregular de acuerdo con los requisitos de esta sección.

**A.3.3.2 - DEFINICION DE LA CONFIGURACION ESTRUCTURAL** - Se entiende por configuración estructural de la edificación, no solamente la forma exterior de ella y su tamaño, sino la naturaleza, las dimensiones y la localización de los elementos estructurales, y no estructurales, que afecten el comportamiento de la edificación ante las solicitaciones sísmicas.

**A.3.3.3 - REDUCCION DEL VALOR DE R PARA ESTRUCTURAS IRREGULARES** - Cuando una estructura se clasifique como irregular, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía **R** que se utilice en el diseño sísmico de la edificación, debe reducirse multiplicándolo por **f<sub>p</sub>**, debido a irregularidades en planta, y por **f<sub>a</sub>** debido a irregularidades en altura, como indica la ecuación A.3-1.

$$R = f_a \times f_p \times R_0 \quad (\text{A.3-1})$$

Cuando una edificación tiene varios tipos de irregularidad en planta simultáneamente, se aplicará el menor valor de **f<sub>p</sub>**. Análogamente, cuando una edificación tiene varios tipos de irregularidad en altura simultáneamente, se aplicará el menor valor de **f<sub>a</sub>**.

**A.3.3.4 - CONFIGURACION EN PLANTA** - La edificación se considera irregular cuando ocurra, véase la figura A.3-1, uno, o varios, de los casos descritos en la tabla A.3-6, donde se definen los valores de **f<sub>p</sub>**.

**A.3.3.5 - CONFIGURACION EN LA ALTURA** - Una edificación se clasifica como irregular en altura, véase la figura A.3-2, cuando ocurre uno, o varios, de los casos descritos en la tabla A.3-7, donde se definen los valores de **f<sub>a</sub>**.

**A.3.3.5.1 - Excepciones a las irregularidades en altura** - Cuando para todos los pisos, la deriva de cualquier piso es menor de 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades en altura de los tipos 1A, 2A, ó 3A, tal como se definen en la tabla A.3-7, y en este caso se aplica **f<sub>a</sub> = 1**. No hay necesidad de considerar en esta evaluación las derivas de los dos pisos superiores de la edificación ni los sótanos que tengan muros de contención integrados a la estructura en toda su periferia. Las derivas utilizadas en la evaluación pueden calcularse sin incluir los efectos torsionales. Así mismo, no se considera irregular la estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez que cumpla los requisitos de A.3.2.4.3 y los correspondientes de la tabla A.3-5.

**A.3.3.6 - EDIFICACIONES EN ZONAS DE AMENAZA SISMICA BAJA DE LOS GRUPOS DE USO I Y II** - Para las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso **I** y **II**, localizadas en zonas de amenaza sísmica baja, la evaluación

para determinar si la edificación es irregular o no, puede limitarse a irregularidades en planta del tipo 1P (tabla A.3-6) y en altura del tipo 5A (tabla A.3-7).

**A.3.3.7 - EDIFICACIONES EN ZONAS DE AMENAZA SISMICA INTERMEDIA DEL GRUPO DE USO I** - Para las edificaciones pertenecientes al grupo de uso I, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia, la evaluación para determinar si la edificación es irregular o no, puede limitarse a irregularidades en planta de los tipos 1P, 3P y 4P (tabla A.3-6) y en altura de los tipos 4A y 5A (tabla A.3-7).

## A.3.4 - METODOS DE ANALISIS

**A.3.4.1 - METODOS RECONOCIDOS** - Se reconocen los siguientes métodos de análisis del sistema de resistencia sísmica para efectos de su diseño:

- (a) método de la fuerza horizontal equivalente, el cual está descrito en el Capítulo A.4,
- (b) métodos de análisis dinámico elástico, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.5,
- (c) métodos de análisis dinámico inelástico, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.5, y
- (d) métodos de análisis alternos, los cuales deben tener en cuenta las características dinámicas de la edificación, el comportamiento inelástico de los materiales, y deben ser de aceptación general en la ingeniería. En la aplicación de cualquier método de análisis alternativo no se pueden utilizar períodos fundamentales mayores de los permitidos en los Capítulos A.4 y A.5.

**A.3.4.2 - METODO DE ANALISIS A UTILIZAR** - Como mínimo deben emplearse los siguientes métodos de análisis:

**A.3.4.2.1 - Método de la fuerza horizontal equivalente** - Puede utilizarse el método de la fuerza horizontal equivalente en las siguientes edificaciones:

- (a) todas las edificaciones, regulares e irregulares, en las zonas de amenaza sísmica baja,
- (b) todas las edificaciones, regulares e irregulares, pertenecientes al grupo de uso I, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia,
- (c) edificaciones regulares, de menos de 20 niveles ó 60 m de altura medidos desde la base, lo menor, en cualquier zona de amenaza sísmica, exceptuando edificaciones localizadas en lugares que tengan un perfil de suelo tipo  $S_4$ , con periodos de vibración mayores de 0.7 segundos,
- (d) edificaciones irregulares que no tengan más de 6 niveles ó 18 m de altura medidos a partir de la base, lo menor,
- (e) estructuras flexibles apoyadas sobre estructuras más rígidas que cumplan los requisitos de A.3.2.4.3.

**A.3.4.2.2 - Método del análisis dinámico elástico** - Debe utilizarse el método del análisis dinámico elástico en todas las edificaciones que no estén cubiertas por A.3.4.2.1, incluyendo las siguientes:

- (a) edificaciones de más de 20 niveles o 60 m de altura, lo menor, exceptuando las edificaciones mencionadas en A.3.4.2.1 (a) y (b),
- (b) edificaciones que tengan irregularidades verticales de los tipos 1A, 2A y 3A, tal como se definen en A.3.3.5,
- (c) edificaciones que tengan irregularidades que no estén descritas en A.3.3.4 y A.3.3.5, exceptuando el caso descrito en A.3.2.4.3,
- (d) edificaciones de más de 5 niveles o 20 m de altura, lo menor, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta, que no tengan el mismo sistema estructural en toda su altura, con la excepción de los prescrito en A.3.2.4.3,
- (e) estructuras, regulares o irregulares, localizadas en sitios que tengan un perfil de suelo  $S_4$  y que tengan un período mayor de 0.7 segundos. En este caso el análisis debe incluir los efectos de interacción suelo-estructura, tal como los prescribe el Capítulo A.7.

**A.3.4.2.3 - Método del análisis dinámico inelástico** - Puede utilizarse el método del análisis dinámico inelástico en aquellos casos que a juicio del ingeniero diseñador, se presenten variaciones en la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico que solo sea posible identificar por este procedimiento. Cuando se utilice este método de análisis deben cumplirse los requisitos dados en el Capítulo A.5.

**A.3.4.3 - RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA Y SUS ELEMENTOS** - Las rigideces que se empleen en el análisis estructural para el diseño sísmico deben ser definidas por el ingeniero diseñador de acuerdo con su criterio, teniendo en cuenta los preceptos dados para cada material estructural en el Título correspondiente de este Reglamento.

## A.3.5 - REQUISITOS PARA LOS MATERIALES ESTRUCTURALES

**A.3.5.1** - Los requisitos especiales para el diseño y los detalles propios de cada material estructural se dan para el grado de capacidad de disipación de energía; mínima (*DMI*), moderada (*DMO*) o especial (*DES*), que se requiera del material y para cada uno de los sistemas estructurales de resistencia sísmica en las tablas A.3-1 a A.3-4.

## A.3.6 - EFECTOS SISMICOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

**A.3.6.1 - GENERALIDADES** - Todos los elementos estructurales deben diseñarse para los efectos de los movimientos sísmicos de diseño que actúen sobre ellos, adicionalmente a todas las cargas que los puedan afectar, tal como lo prescribe el Título B de este Reglamento.

**A.3.6.1.1 - Elementos del sistema de resistencia sísmica** - Solamente los elementos que pertenezcan al sistema estructural de resistencia sísmica pueden contribuir a la resistencia sísmica de la edificación y deben diseñarse de acuerdo con los requisitos propios de su material estructural y para el grado de capacidad de disipación de energía requerido, además de los requisitos adicionales dados en la presente sección.

**A.3.6.1.2 - Elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica** - Los elementos estructurales que no formen parte del sistema estructural de resistencia sísmica, deben investigarse con el fin de determinar si pueden mantener su capacidad de resistir cargas verticales cuando se ven sometidos a los desplazamientos horizontales y a las derivas, causados por los movimientos sísmicos de diseño, pero sólo hay necesidad de que cumplan los requisitos del grado de capacidad de disipación de energía mínimo para su material estructural. Sus anclajes y amarres al sistema de resistencia sísmica deben cumplir los requisitos dados en la presente sección y en el Capítulo A.8.

**A.3.6.2 - COMBINACION DE LOS EFECTOS DE CARGA** - Los coeficientes de carga que deben emplearse en la combinación de cargas de gravedad y de fuerzas sísmicas se establecen en el Título B de este Reglamento. Debe tenerse en cuenta que las fuerzas sísmicas obtenidas siguiendo éste Reglamento, están definidas al nivel de resistencia, por lo tanto ya están mayoradas.

**A.3.6.3 - DIRECCION DE APLICACION DE LAS FUERZAS SISMICAS** - Con la excepción de lo dispuesto en A.3.6.3.1, puede suponerse que el efecto crítico sobre una edificación, causado por la dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas se ha tomado en cuenta si todos los elementos se diseñan para el 100% de las fuerzas sísmicas actuando no simultáneamente en las dos direcciones principales. La fuerza sísmica debe combinarse con las cargas verticales de acuerdo con los requisitos del Título B de este Reglamento.

**A.3.6.3.1 - Casos en los cuales hay que tener en cuenta los efectos ortogonales** - Debe tenerse en cuenta el efecto de las fuerzas sísmicas actuando en una dirección diferente a la de los ejes principales de la edificación, de acuerdo con A.3.6.3.2, en los siguientes casos:

- (a) en estructuras que tienen irregularidades en planta del tipo 5P, tal como se definen en la tabla A.3-6,
- (b) en estructuras que tienen en sus dos ejes principales irregularidades en planta del tipo 1P, tal como se definen en la tabla A.3-6, y
- (c) en las columnas que hagan parte del sistema de resistencia sísmica de la estructura.

**A.3.6.3.2 - Efectos ortogonales** - Los efectos ortogonales pueden tenerse en cuenta suponiendo la concurrencia simultánea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular. Debe utilizarse la combinación que requiera la mayor resistencia del elemento. Alternativamente, pueden calcularse como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente en las dos direcciones ortogonales, asignándole el signo que conduzca al resultado más conservador.

**A.3.6.4 - AMARRES Y CONTINUIDAD** - Todos los elementos estructurales deben interconectarse. La conexión y los elementos conectores deben ser capaces de transmitir las fuerzas sísmicas inducidas por las partes que conectan; además de los requisitos del Capítulo A.8, deben cumplirse los siguientes requisitos:

**A.3.6.4.1 - Partes de la edificación** - Cualquier parte o porción de la edificación debe estar vinculada y amarrada al resto de la edificación por medio de elementos de conexión cuya resistencia, como mínimo, debe ser  $(0.40A_g)$  veces la masa de la parte o porción.

**A.3.6.4.2 – Vigas de amarre en la cimentación** - Los elementos de cimentación, tales como zapatas, dados de pilotes, pilas o "caissons", etc., deben amarrarse por medio de elementos capaces de resistir en tensión o compresión una fuerza no menor de  $(0.25A_a)$  veces la carga vertical total del elemento que tenga la mayor carga entre los que interconecta, además de las fuerzas que le transmita la superestructura. Para efectos del diseño de la cimentación debe cumplirse lo prescrito en A.3.7.

**A.3.6.5 - ELEMENTOS COLECTORES** - Deben proveerse elementos colectores capaces de transferir las fuerzas sísmicas que se originan en otras partes de la edificación hasta el elemento vertical del sistema de resistencia sísmica que resiste esas fuerzas.

**A.3.6.6 - DISTRIBUCION DE LA FUERZA CORTANTE EN EL PISO** - La fuerza cortante,  $V_x$ , en el nivel  $x$ , debe determinarse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$V_x = \sum_{i=x}^n \dot{a} F_i \quad (\text{A.3-2})$$

La fuerza cortante,  $V_x$ , y las torsiones asociadas deben distribuirse entre los diferentes pórticos y muros estructurales del sistema de resistencia sísmica de acuerdo con sus respectivas rigideces de desplazamiento y teniendo en cuenta la rigidez del diafragma.

**A.3.6.7 - TORSION EN EL PISO** - En el diseño deben tenerse en cuenta los efectos de torsión en el piso, de acuerdo con los requisitos de A.3.6.7.1 a A.3.6.7.3, considerando que estos provienen, o bien, de la incertidumbre en la localización de las masas dentro del piso, lo cual conduce a una torsión accidental, o bien debido a la excentricidad entre el centro de masas y el centro de rigidez cuando los diafragmas se consideran rígidos en su propio plano.

**A.3.6.7.1 - Torsión accidental** - Debe suponerse que la masa de todos los pisos está desplazada transversalmente, hacia cualquiera de los dos lados, del centro de masa calculado de cada piso, una distancia igual al 5 por ciento (0.05) de la dimensión de la edificación en ese piso, medida en la dirección perpendicular a la dirección en estudio. El efecto de la torsión que se genera debe tenerse en cuenta en la distribución del cortante del piso a los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica. Cuando existan irregularidades en planta del tipo 1P, tal como las define A.3.3.4.1 (tabla A.3-6), debe aumentarse la torsión accidental en cada nivel  $x$ , multiplicándola por un coeficiente de amplificación,  $A_x$ , determinado de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$A_x = \frac{\hat{e}}{\hat{e}} \frac{d_{\max}}{1.2 d_{\text{prom}}} \frac{\hat{u}}{\hat{u}}^2 \leq 3.0 \quad (\text{A.3-3})$$

**A.3.6.7.2 - Torsión debida a la no coincidencia del centro de masa y de rigidez** - Cuando el diafragma puede considerarse rígido en su propio plano, debe tenerse en cuenta el aumento en los cortantes sobre los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica debida a la distribución, en planta, de la rigidez de los elementos del sistema de resistencia sísmica.

**(a) Diafragma flexible** - El diafragma puede suponerse flexible, para los efectos de las prescripciones de esta sección, cuando la máxima deflexión horizontal dentro del diafragma, al verse sometido a las fuerzas sísmicas,  $F_s$ , es más de 2 veces el promedio de sus deflexiones horizontales. Esta determinación de la flexibilidad del diafragma puede realizarse comparando la deflexión horizontal debida a las fuerzas sísmicas, obtenida en el punto medio del diafragma, con la de cada uno de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, al verse sometidos a una fuerza horizontal equivalente a la producida por la masa aferente al elemento.

**(b) Diafragma rígido en su propio plano** - El diafragma puede suponerse rígido en su propio plano cuando se dispone su rigidez y su resistencia de tal manera que éste actúe como una unidad y sus propiedades de masa y de rigidez se puedan concentrar en el centro de masa y en el centro de rigidez respectivamente. En las edificaciones que tengan irregularidades de los tipos 2P y 3P la consideración de diafragma rígido debe evaluarse cuidadosamente, pues en la mayoría de los casos estas irregularidades inhiben el comportamiento como diafragma rígido de los entresijos de la edificación.

**A.3.6.7.3 - Torsión de diseño** - El momento torsional de diseño en cualquier nivel de la estructura se obtiene como la suma de las torsiones de diseño de todos los niveles localizados por encima del nivel en estudio. La porción de la torsión aportada por cada nivel se obtiene como la torsión accidental del nivel, más el producto de la fuerza sísmica horizontal, correspondiente a ese nivel por una dimensión igual a la proyección, en la dirección perpendicular a la dirección de las fuerzas, de la distancia entre el centro de masa y el centro de rigidez del nivel.

**A.3.6.8 - DIAFRAGMAS** - En el diseño de los pisos y cubiertas que actúan como diafragmas debe tenerse en cuenta lo siguiente:

**A.3.6.8.1** - La deflexión en el plano del diafragma no debe exceder la deflexión permisible de los elementos que estén adheridos a él. La deflexión permisible debe ser aquella que permita a los elementos adheridos mantener su integridad estructural bajo las fuerzas impuestas.

**A.3.6.8.2** - Los diafragmas de piso o de cubierta deben diseñarse para que sean capaces de resistir las fuerzas que se determinan por medio de la siguiente ecuación:

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n \dot{a} F_i}{\sum_{i=x}^n \dot{a} m_i} m_{px} \quad (\text{A.3-4})$$

No hay necesidad de que la fuerza  $F_{px}$  obtenida de la ecuación A.3-4 exceda ( $0.75 A_a g \text{ Im}_{px}$ ), pero no debe ser menor de ( $0.35 A_a g \text{ Im}_{px}$ ). Cuando el diafragma debe transmitir fuerzas provenientes de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica que se encuentren por encima del diafragma, a elementos verticales del sistema de resistencia sísmica que se encuentren por debajo del diafragma, debido a desplazamientos en la localización de los elementos, o por cambios en la rigidez de los elementos verticales, las fuerzas correspondientes se deben adicionar a las obtenidas por medio de la ecuación A.3-4.

**A.3.6.8.3** - Los diafragmas que den apoyo a muros de concreto reforzado o de mampostería, deben tener amarres continuos entre los diferentes elementos del diafragma con el fin de distribuir las fuerzas de anclaje especificadas en A.3.6.10.

**A.3.6.8.4** - Las conexiones del diafragma a los elementos verticales o a los elementos colectores, o entre elementos colectores, en estructuras localizadas en zonas de amenaza sísmica alta que tengan irregularidades en planta de los tipos 1P, 2P, 3P ó 4P (tabla A.3-6), deben diseñarse para las fuerzas sísmicas correspondientes, multiplicadas por 1.25.

**A.3.6.8.5** - En las edificaciones localizadas en zonas de amenaza sísmica alta que tengan irregularidades en planta del tipo 2P (tabla A.3-6), los elementos del diafragma deben diseñarse considerando movimientos independientes de las alas que se proyectan hacia afuera de la estructura. Cada uno de los elementos del diafragma debe diseñarse para la condición más severa producida por el movimiento de las alas del diafragma en la misma dirección, o en direcciones opuestas.

**A.3.6.9 - ELEMENTOS LOCALIZADOS DEBAJO DE LA BASE** - La resistencia y rigidez de los elementos que formen parte del sistema de resistencia sísmica que se encuentren localizados entre la base y la cimentación no deben ser menores que las de la superestructura. Los elementos localizados entre la base y la cimentación deben tener el mismo grado de capacidad de disipación de energía de los elementos del sistema de resistencia sísmica.

**A.3.6.10 - MUROS ESTRUCTURALES** - Los muros estructurales de concreto o mampostería, exteriores e interiores, deben amarrarse a los diafragmas o cubiertas que les provean apoyo lateral, por medio de anclajes diseñados para resistir una fuerza horizontal que actúa perpendicularmente al plano del muro. Dicha fuerza debe ser igual a  $A_a$  veces  $M_p g$ , pero no menor que  $0.10 M_p g$ , donde  $M_p$  es la masa del tramo de muro considerado.

**A.3.6.11 - ESTRUCTURAS DE TIPO PENDULO INVERTIDO** - Estas son estructuras donde el sistema de resistencia sísmica actúa como uno o varios voladizos aislados y un porcentaje muy alto de la masa se encuentra concentrada en la parte superior de la estructura. Las columnas o pilares de apoyo de las estructuras de tipo péndulo invertido deben diseñarse para un diagrama de momentos flectores que inicia en la base con un valor determinado de acuerdo con los



procedimientos establecidos en el Capítulo A.4 y varía uniformemente hasta llegar a la mitad de este valor en la parte superior. Véase la tabla A.3-3 para efectos de los sistemas estructurales permitidos.

**A.3.6.12 - ELEMENTOS VERTICALES DISCONTINUOS** - En las zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, cuando se presenten discontinuidades en el alineamiento de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, tales como las descritas en las irregularidades en planta tipo 4P (tabla A.3-6) y en altura tipo 4A (tabla A.3-7), o en cualquier zona de amenaza sísmica, cuando una estructura rígida se apoye sobre una estructura con menor rigidez como se indica en la Tabla A.3-5, deben cumplirse los siguientes requisitos:

- (a) las fuerzas axiales mayoradas de las columnas que sostengan los elementos que se suspenden se deben obtener utilizando las combinaciones de carga apropiadas de las dadas en B.2.4, utilizando un coeficiente de carga igual a  $0.4R$ , pero no menor de  $1.0$ , en las combinaciones que incluyan fuerzas sísmicas reducidas de diseño  $E$ , en vez del coeficiente  $1.0$  prescrito allí,
- (b) debe garantizarse que los elementos, tales como vigas, que llevan estas fuerzas axiales hasta las columnas que las soportan sean capaces de resistirlas,
- (c) las columnas deben diseñarse para las fuerzas axiales mayoradas como se indica en el literal (a), acompañadas de los momentos obtenidos del análisis, los cuales se mayoran utilizando las combinaciones de carga normales prescritas en B.2.4,
- (d) las columnas deben diseñarse y detallarse siguiendo los requisitos del grado especial de capacidad de disipación de energía ( $DES$ ) del material correspondiente.

Cuando el diseño de las columnas que soportan el elemento que se suspende se realiza utilizando el método de esfuerzos de trabajo prescrito en B.2.3, las fuerzas axiales de diseño al nivel de esfuerzos de trabajo se deben multiplicar por  $0.3R$ , pero no menos de  $0.7$ , en vez del coeficiente  $0.7$  prescrito allí.

**A.3.6.13 - EFECTO DE LAS ACELERACIONES VERTICALES** - En las zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, deben tenerse en cuenta los efectos de los movimientos sísmicos verticales en los siguientes elementos estructurales:

- (a) en los voladizos, considerando una fuerza vertical, ascendente o descendente, en la punta del elemento con un valor igual al 30 por ciento de la carga muerta del voladizo en las zonas de amenaza sísmica alta, y del 15 por ciento en las zonas de amenaza sísmica intermedia, y
- (b) en los elementos construidos con concreto preesforzado, deben utilizarse combinaciones de carga adicionales a todas aquellas que incluyan carga muerta, utilizando el 50 por ciento de la carga muerta.

## A.3.7 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

**A.3.7.1 - SISTEMA DE RESISTENCIA SISMICA** - Los elementos del sistema estructural de resistencia sísmica, y sus conexiones, deben diseñarse utilizando todas las sollicitaciones requerida por el Título B del Reglamento, debidamente combinadas según se exige allí. Las fuerzas sísmicas obtenidas del análisis  $F_s$ , se reducen, dividiéndolas por el coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$ , correspondiente al sistema estructural de resistencia sísmica, para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E = F_s / R$ ) que se emplean en las combinaciones de carga prescritas en el Título B. El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico,  $R_0$ , multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ( $R = f_a f_p R_0$ ). El diseño de los elementos estructurales y sus conexiones se realiza cumpliendo los requisitos exigidos para el grado de capacidad de disipación de energía requerido del material. Estas fuerzas de diseño de los elementos estructurales obtenidas siguiendo el procedimiento anotado, son fuerzas al nivel de resistencia, o sea que corresponden a fuerzas mayoradas que ya han sido multiplicadas por sus coeficientes de carga. Para elementos que se diseñan utilizando el método de esfuerzos de trabajo, debe consultarse A.3.1.8.

**A.3.7.2 - CIMENTACION** - Las fuerzas sísmicas que actúan sobre la cimentación y el suelo de soporte se obtienen así:

- (a) Para efectos del diseño estructural de los elementos que componen la cimentación, se emplea el procedimiento indicado en A.3.7.1, empleando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas reducidas de diseño,  $E$ , a partir de las reacciones de la estructura sobre estos elementos. En el diseño de los elementos de cimentación deben seguirse los requisitos propios del material estructural y del Título H de este Reglamento.
- (b) Para efectos de obtener los esfuerzos sobre el suelo de cimentación, a partir de las reacciones de la estructura y su cimentación sobre el suelo, se emplean las combinaciones de carga para el método de esfuerzos de trabajo de la sección B.2.3, empleando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas

reducidas de diseño, E. Los efectos sobre el suelo así obtenidos están definidos al nivel de esfuerzos de trabajo y deben evaluarse de acuerdo con los requisitos del Título H de este Reglamento.

### **A.3.8 – ESTRUCTURAS AISLADAS SISMICAMENTE EN SU BASE**

**A.3.8.1** - Se permite el empleo de estructuras aisladas sísmicamente en su base, siempre y cuando se cumplan en su totalidad los requisitos al respecto de uno de los tres documentos siguientes:

- (a) *“NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings – Provisions and Commentary”*, 1994 Edition, Federal Emergency Management Agency, FEMA 222A, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., USA, May 1995,
- (b) *“Minimum Design Loads for Building and Other Structures”*, ANSI/ASCE 7-95, American Society of Civil Engineers, New York, NY, USA, June 1996, o
- (c) *“Uniform Building Code - 1997”*, UBC-97, International Conference of Building Officials, Whittier, CA, USA, April 1997.

**A.3.8.2** – En el diseño y construcción de estructuras aisladas sísmicamente en su base, se deben cumplir los requisitos de los Artículos 10 y 11 de la Ley 400 de 1997, asumiendo el diseñador estructural y el constructor las responsabilidades que allí se indican.

**A.3.8.3** - La construcción de una edificación que utilice sistemas de aislamiento sísmico en su base debe someterse a una supervisión técnica permanente, como la describe el Título I.

Tabla A.3-1  
SISTEMA ESTRUCTURAL DE MUROS DE CARGA (Nota 1)

A. SISTEMA DE MUROS DE CARGA		Valor de $R_0$ (Nota 2)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema de resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema de resistencia para cargas verticales		alta		intermedia		baja	
			uso permit	altura max	uso permit	altura max	uso permit	altura max
1. Paneles de cortante de madera	muros ligeros de madera laminada	5.0	si	6 m	si	9 m	si	12 m
<b>2. Muros estructurales</b>								
a. muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	7.0	si	72 m	si	sin límite	si	sin límite
b. muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	5.0	no se permite		si	72 m	si	sin límite
c. muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	el mismo	2.5	no se permite		no se permite		si	45 m
d. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	el mismo	4.5	si	45 m	si	60 m	si	sin límite
e. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	el mismo	3.5	si	30 m	si	40 m	si	sin límite
f. muros de mampostería parcialmente reforzada de bloque de perforación vertical (DMI)	el mismo	2.5	Grupo I	2 pisos	si	12 m	si	18 m
g. muros de mampostería confinada (DMO - capacidad moderada de disipación de energía)	el mismo	1.5	Grupo I y II	15 m	Grupo I y II	18 m	Grupo I y II	21 m
h. muros de mampostería de cavidad reforzada (DES - capacidad especial de disipación de energía)	el mismo	4.0	si	45 m	si	60 m	si	sin límite
i. muros de mampostería no reforzada (DMI - no tiene capacidad de disipación de energía)	el mismo	1.0	no se permite		no se permite		Grupo I (Nota 3)	2 pisos
<b>3. Pórticos con diagonales (las diagonales llevan fuerza vertical)</b>								
a. pórticos de acero estructural con diagonales concéntricas (DES)	el mismo	5.0	si	24 m	si	30 m	si	sin límite
b. pórticos con diagonales de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	3.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
c. pórticos de madera con diagonales	el mismo	2.0	si	12 m	si	15 m	si	18 m

**Notas:**

- 1 - El sistema de muros de carga es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo, en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.
- 2 - Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $f_a$  y por  $f_p$  para obtener  $R = f_p f_a R_0$  (Véase A.3.3.3).
- 3 - La mampostería no reforzada sólo se permite en las regiones de las zonas de amenaza sísmica baja donde  $A_a$  sea menor o igual a 0.05 cuando se trata de edificaciones del grupo de uso I, de uno y dos pisos.
- 4 - En sistemas prefabricados debe emplearse  $R_0 = 1.5$ . Véase A.3.1.7.

Tabla A.3-2  
SISTEMA ESTRUCTURAL COMBINADO (Nota 1)

B. SISTEMA COMBINADO		Valor de $R_0$ (Nota 2)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema de resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema de resistencia para cargas verticales		alta		intermedia		baja	
			uso permit	altura max	uso permit	altura max	uso permit	altura max
<b>1. Pórticos de acero con diagonales excéntricas</b>								
a. Pórticos de acero con diagonales excéntricas	pórticos de acero estructural resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	7.0	si	45 m	si	60 m	si	sin límite
b. Pórticos de acero con diagonales excéntricas	pórticos de acero estructural no resistentes a momentos	6.0	si	30 m	si	45 m	si	sin límite
<b>2. Muros estructurales</b>								
a. muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	7.0	si	72 m	si	sin límite	si	sin límite
b. muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	5.0	no se permite		si	72 m	si	sin límite
c. muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos losa-columna (Nota 3) con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	no se permite		si	18 m	si	27 m
d. muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	2.5	no se permite		no se permite		si	72 m
e. muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	pórticos losa-columna (Nota 3) con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	2.0	no se permite		no se permite		si	18 m
f. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	4.5	si	30 m	si	45 m	si	45
g. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	3.5	si	30 m	si	45 m	si	45
h. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	2.5	no se permite		si	30 m	si	45
i. muros de mampostería confinada (DMO – capacidad moderada de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	1.5	no se permite		Grupo I	18 m	Grupo I	21 m
j. muros de mampostería confinada (DMO – capacidad moderada de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	1.5	no se permite		no se permite		Grupo I	18 m
k. muros de mampostería de cavidad reforzada (DES - capacidad especial de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	4.0	no se permite		si	30 m	si	45
l. muros de mampostería de cavidad reforzada (DES - capacidad especial de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	2.0	no se permite		no se permite		si	45
<b>3. Pórticos con diagonales concéntricas</b>								
a. pórticos de acero estructural con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero estructural no resistentes a momentos	5.0	si	30 m	si	45 m	si	60 m
c. pórticos de concreto con diagonales concéntricas con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	no se permite		si	24 m	si	30 m

**Notas:**

- 1 - El sistema combinado es un sistema estructural en el cual: **(a)** las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o **(b)** las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual.
- 2 - Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $f_a$  y por  $f_p$  para obtener  $R = f_p f_a R_0$  (Véase A.3.3.3).
- 3 - Los pórticos losa-columna incluyen el reticular celularo.
- 4 - En sistemas prefabricados debe emplearse  $R_0 = 1.5$ . Véase A.3.1.7.

Tabla A.3-3  
 SISTEMA ESTRUCTURAL DE PORTICO (Nota 1)

C. SISTEMA DE PORTICO		Valor de $R_0$ (Nota 2)	zonas de amenaza sísmica					
			alta		intermedia		baja	
Sistema de resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema de resistencia para cargas verticales		uso permit	altura max	uso permit	altura max	uso permit	altura max
<b>1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)</b>								
a. de concreto (DES)	el mismo	7.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. de acero (DES)	el mismo	7.0 (Nota-3)	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
<b>2. Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)</b>								
a. de concreto (DMO)	el mismo	5.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
b. de acero (DMO)	el mismo	5.0 (Nota-3)	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
<b>3. Pórticos resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)</b>								
a. de concreto (DMI)	el mismo	2.5	no se permite		no se permite		si	sin límite
b. de acero (DMI)	el mismo	3.5 (Nota-3)	no se permite		no se permite		si	sin límite
<b>4. Pórticos losa-columna (incluye reticular celulado)</b>								
a. de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	2.5	no se permite		si	15 m	si	21 m
b. de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	el mismo	1.5	no se permite		no se permite		si	15 m
<b>5. Estructuras de péndulo invertido</b>								
a. Pórticos de acero resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	2.5 (Nota-3)	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. Pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Pórticos de acero resistentes a momento con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	1.5 (Nota-3)	no se permite		si	sin límite	si	sin límite

**Notas:**

- 1 - El sistema de pórtico es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y las fuerzas horizontales.
- 2 - Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $f_a$  y por  $f_p$  para obtener  $R = f_p f_a R_0$  (Véase A.3.3.3).
- 3 - Cuando se trate de estructuras de acero donde las uniones del sistema de resistencia sísmica son soldadas en obra, el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por 0.90.
- 4 - En sistemas prefabricados debe emplearse  $R_0 = 1.5$ . Véase A.3.1.7.

Tabla A.3-4  
SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL (Nota 1)

D. SISTEMA DUAL		Valor De $R_0$ (Nota 2)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema de resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema de resistencia para cargas verticales		alta		intermedia		baja	
			uso permit	altura max	uso permit	altura max	uso permit	altura max
<b>1. Muros estructurales</b>								
a. muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	8.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	8.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	6.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
d. muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	6.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
e. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	5.5	si	45 m	si	45 m	si	45 m
f. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	5.5	si	45 m	si	45 m	si	45 m
g. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	4.5	si	35 m	si	35 m	si	35 m
h. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	4.5	si	35 m	si	35 m	si	35 m
i. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
j. muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
<b>2. Pórticos de acero con diagonales excéntricas</b>								
a. pórticos de acero con diagonales excéntricas	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	8.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. pórticos de acero con diagonales excéntricas	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	6.0	no se permite		si	60 m	si	sin límite
<b>3. Pórticos con diagonales concéntricas</b>								
a. de acero con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	6.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. de acero con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	5.0	no se permite		si	60 m	si	sin límite
d. de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	4.0	no se permite		si	24 m	si	30 m

Tabla A.3-4 (Continuación)  
SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL

**Notas:**

- 1 - El sistema dual es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Para que el sistema estructural se pueda clasificar como sistema dual se deben cumplir los siguientes requisitos: **(a)** El pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de soportar las cargas verticales. **(b)** Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos, el cual puede ser un pórtico de capacidad especial de disipación de energía (*DES*), cuando se trata de concreto reforzado o acero estructural, un pórtico con capacidad moderada de disipación de energía de concreto reforzado, o un pórtico con capacidad mínima de disipación de energía de acero estructural. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente, debe diseñarse para que sea capaz de resistir como mínimo el 25 por ciento del cortante sísmico en la base. **(c)** Los dos sistemas deben diseñarse de tal manera que en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante sísmico en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación, pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales o los pórticos con diagonales puede ser menor del 75 por ciento del cortante sísmico en la base.
- 2 - Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $f_a$  y por  $f_p$  para obtener  $R = f_p f_a R_0$  (Véase A.3.3.3).
- 3 - En sistemas prefabricados debe emplearse  $R_0 = 1.5$ . Véase A.3.1.7.

Tabla A.3-5  
Mezcla de sistemas estructurales en la altura

Descripción de la combinación	Requisitos
<b>Estructura flexible apoyada sobre una estructura con mayor rigidez</b>	
<p>Puede utilizarse los requisitos dados aquí si la estructura cumple las siguientes condiciones:</p> <p><b>(a)</b> ambas partes de la estructura, consideradas separadamente, puedan ser clasificadas como regulares de acuerdo con los requisitos de A.3.3,</p> <p><b>(b)</b> el promedio de las rigideces de piso de la parte baja sea por lo menos 10 veces el promedio de las rigideces de piso de la parte alta y</p> <p><b>(c)</b> el período de la estructura, considerada como un todo, no sea mayor de 1.1 veces el período de la parte superior, al ser considerada como una estructura independiente empotrada en la base.</p> <p>Si no se cumplen las condiciones anteriores la estructura se considera irregular y deben seguirse los requisitos de A.3.3.</p>	<p>Se permite que esta combinación de sistemas estructurales no se considere irregular (<math>f_p = f_a = 1.0</math>), y el sistema puede diseñarse sísmicamente utilizando el método de la fuerza horizontal equivalente, tal como lo prescribe el Capítulo A.4, de la siguiente manera:</p> <p><b>(1)</b> La parte superior flexible puede ser analizada y diseñada como una estructura separada, apoyada para efecto de las fuerzas horizontales por la parte más rígida inferior, usando el valor apropiado de <math>R_0</math> para su sistema estructural</p> <p><b>(2)</b> La parte rígida inferior debe ser analizada y diseñada como una estructura separada, usando el valor apropiado de <math>R_0</math> para su sistema estructural, y las reacciones de la parte superior, obtenidas de su análisis, deben ser amplificadas por la relación entre el valor de <math>R_0</math> para la parte superior y el valor de <math>R_0</math> de la parte inferior.</p>
<b>Estructura rígida apoyada sobre una estructura con menor rigidez</b>	
<p>Cubre edificaciones en las cuales se suspende antes de llegar a la base de la estructura, parcial o totalmente, un sistemas estructural más rígido que el que llega a base de la estructura.</p> <p>Este tipo de combinación de sistemas estructurales en la altura presenta inconvenientes en su comportamiento sísmico.</p> <p>En aquellos casos en que se tenga que recurrir a este tipo de combinación, la estructura se considera como irregular y deben cumplirse los requisitos especiales dados aquí:</p>	<p><b>(1)</b> La parte superior rígida debe diseñarse usando el valor apropiado de <math>R_0</math> para su sistema estructural, afectado por los coeficientes <math>f_p</math> y <math>f_a</math> que le correspondan a esta porción de la estructura considerada como una estructura separada, siguiendo los requisitos de A.3.3.3.</p> <p><b>(2)</b> El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía, <math>R</math>, que se aplica a la parte inferior de menor rigidez, debe ser dos tercios (2/3) del menor valor de <math>R_0</math> de los sistemas estructurales que se combinan, utilizando para esta porción <math>f_p = f_a = 1.0</math>.</p> <p><b>(3)</b> El sistema flexible que da apoyo debe ser un sistema de capacidad especial de disipación de energía (DES), indistintamente de la zona de amenaza sísmica donde se encuentre localizada la edificación.</p> <p><b>(4)</b> El entrepiso de transición debe ser un diafragma rígido en su propio plano.</p> <p><b>(5)</b> Las fuerzas internas (momentos, fuerzas cortantes y fuerzas axiales) que tenga el sistema rígido en el punto en que se suspende, deben ser resistidas en su totalidad por el elemento o elementos que lo soportan. Debe tenerse especial cuidado con la resistencia a los momentos de vuelco impuestos por los elementos del sistema rígido a los elementos del sistema flexible. Además deben cumplirse los requisitos de A.3.6.12.</p>



**Tabla A.3-6**  
**Irregularidades en planta**

<b>Tipo</b>	<b>Descripción de la irregularidad en planta</b>	<b><math>f_p</math></b>	<b>Referencias</b>
	<b><i>Irregularidad torsional</i></b>		
<b>1P</b>	La irregularidad torsional existe cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.2 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.	0.9	A.3.3.6, A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.3.6.7.1, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
	<b><i>Retrocesos excesivos en las esquinas</i></b>		
<b>2P</b>	La configuración de una estructura se considera irregular cuando ésta tiene retrocesos excesivos en sus esquinas. Un retroceso en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del retroceso, son mayores que el 15 por ciento de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso.	0.9	A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.3.6.8.5, A.5.2.1,
	<b><i>Discontinuidades en el diafragma</i></b>		
<b>3P</b>	Cuando el diafragma tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrocesos o huecos con áreas mayores al 50 por ciento del área bruta del diafragma o existen cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50 por ciento, entre niveles consecutivos, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.5.2.1.
	<b><i>Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales</i></b>		
<b>4P</b>	La estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en las trayectorias de las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos, tales como cuando se traslada el plano que contiene a un grupo de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, en una dirección perpendicular a él, generando un nuevo plano. Los altillos o manzardas de un solo piso se eximen de este requisito en la consideración de irregularidad.	0.8	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.8.4, A.3.6.12, A.5.2.1.
	<b><i>Sistemas no paralelos</i></b>		
<b>5P</b>	Cuando las direcciones de acción horizontal de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica no son paralelas o simétricas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema de resistencia sísmica, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.4.2, A.3.6.3.1, A.5.2.1.

**Notas:**

- 1 – En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso **I**, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 1P, 3P y 4P (Véase A.3.3.7).
- 2 – En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes a los grupos de uso **I** y **II**, la evaluación de irregularidad se puede limitar a la irregularidad tipo 1P (Véase A.3.3.6).

**Tabla A.3-7**  
**Irregularidades en la altura**

<b>Tipo</b>	<b>Descripción de la irregularidad en altura</b>	<b><math>f_a</math></b>	<b>Referencias</b>
	<b><i>Piso flexible (Irregularidad en rigidez)</i></b>		
<b>1A</b>	Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 70 por ciento de la rigidez del piso superior o menor del 80 por ciento del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular.	0.9	A.3.3.5.1, A.3.4.2,
	<b><i>Irregularidad en la distribución de las masas</i></b>		
<b>2A</b>	Cuando la masa, $m_i$ , de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos contiguos, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de cubiertas que sean más livianas que el piso de abajo.	0.9	A.3.3.5.1, A.3.4.2.
	<b><i>Irregularidad geométrica</i></b>		
<b>3A</b>	Cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia sísmica en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de los altillos de un solo piso.	0.9	A.3.4.2.
	<b><i>Desplazamientos dentro del plano de acción</i></b>		
<b>4A</b>	La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, dentro del mismo plano que los contiene, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos, se eximen de esta consideración de irregularidad.	0.8	A.3.3.7, A.3.4.2, A.3.6.12.
	<b><i>Piso débil – Discontinuidad en la resistencia</i></b>		
<b>5A</b>	Cuando la resistencia del piso es menor del 70 por ciento de la del piso inmediatamente superior, entendiéndose la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada, la estructura se considera irregular.	0.8	A.3.2.4.1, A.3.3.6, A.3.3.7, A.3.4.2.

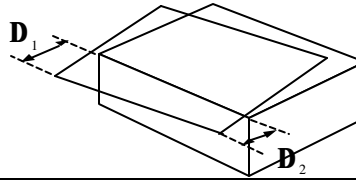
**Notas:**

- 1– Cuando la deriva de cualquier piso es menor de 1.3 veces la deriva del piso siguiente hacia arriba, puede considerarse que no existen irregularidades de los tipos 1A, 2A, ó 3A (Véase A.3.3.5.1).
- 2 – En zonas de amenaza sísmica intermedia para edificaciones pertenecientes al grupo de uso **I**, la evaluación de irregularidad se puede limitar a las irregularidades de los tipos 4A y 5A (Véase A.3.3.7).
- 3 – En zonas de amenaza sísmica baja para edificaciones pertenecientes a los grupos de usos **I** y **II**, la evaluación de irregularidad se puede limitar a la irregularidad tipo 5A (Véase A.3.3.6).

IRREGULARIDADES EN PLANTA - FIGURA A.3-1

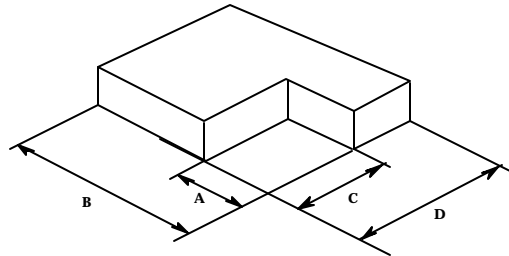
Tipo 1P - Irregularidad torsional -  $f_p = 0.9$

$$D_1 > 1.2 \frac{D_1 + D_2}{2}$$



Tipo 2P – Retrocesos en las esquinas -  $f_p = 0.9$

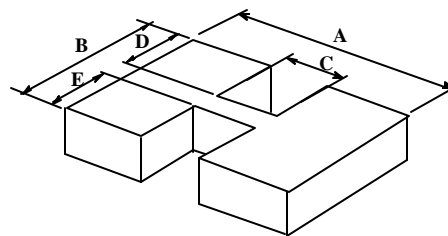
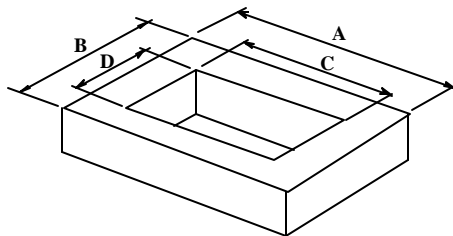
$$A > 0.15B \text{ y } C > 0.15D$$



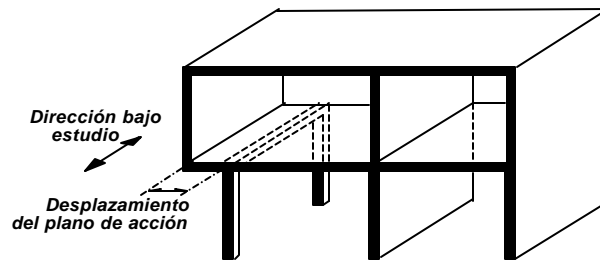
Tipo 3P - Irregularidad del diafragma -  $f_p = 0.9$

$$1) C \text{ ó } D > 0.5A \text{ ó } B$$

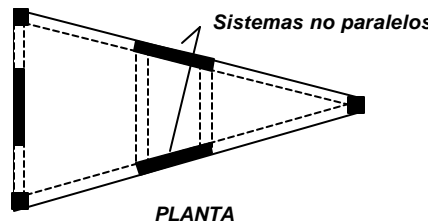
$$2) (C \text{ ó } D + C \text{ ó } E) > 0.5A \text{ ó } B$$



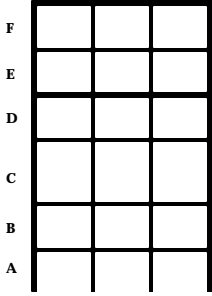
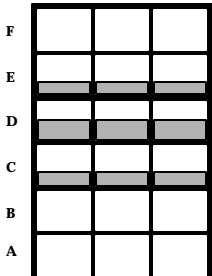
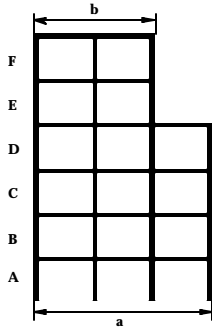
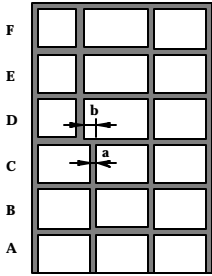
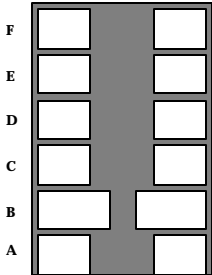
Tipo 4P - Desplazamiento de los planos de Acción -  $f_p = 0.8$



Tipo 5P - Sistemas no paralelos -  $f_p = 0.9$



IRREGULARIDADES EN LA ALTURA - FIGURA A.3-2

<p><b>Tipo 1A - Piso flexible - <math>f_a = 0.9</math></b></p> <p><b>Rigidez <math>K_C &lt; 0.70</math> Rigidez <math>K_D</math></b></p> <p><b>o</b></p> <p><b>Rigidez <math>K_C &lt; 0.80 (K_D + K_E + K_F) / 3</math></b></p>	
<p><b>Tipo 2A – Distribución masa - <math>f_a = 0.9</math></b></p> <p><b><math>m_D &gt; 1.50 m_E</math></b></p> <p><b>o</b></p> <p><b><math>m_D &gt; 1.50 m_C</math></b></p>	
<p><b>Tipo 3A – Geométrica - <math>f_a = 0.9</math></b></p> <p><b><math>a &gt; 1.30 b</math></b></p>	
<p><b>Tipo 4A - Desplazamiento dentro del plano de acción - <math>f_a = 0.8</math></b></p> <p><b><math>b &gt; a</math></b></p>	
<p><b>Tipo 5A - Piso débil - <math>f_a = 0.8</math></b></p> <p><b>Resistencia Piso B &lt; 0.70 Resistencia Piso C</b></p>	



## CAPITULO A.4

### METODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

#### A.4.0 - NOMENCLATURA

- $A_e$  = suma de las áreas efectivas de los muros estructurales en el primer nivel de la estructura, en la dirección en estudio, en m<sup>2</sup>. Véase A.4.2.
- $A_e$  = área mínima de cortante de la sección de un muro estructural, medida en un plano horizontal, en el primer nivel de la estructura y en la dirección en estudio, en m<sup>2</sup>. Véase A.4.2.
- $C_t$  = coeficiente utilizado para calcular el período de la estructura, definido en A.4.2.2
- $C_{vx}$  = coeficiente definido en A.4.3.
- $D_e$  = longitud medida horizontalmente, en metros, de un muro estructural en el primer nivel de la estructura y en la dirección en estudio. Véase A.4.2.
- $F_i, F_x$  = fuerzas sísmicas horizontales en los niveles  $i$  o  $x$  respectivamente. Véase A.4.3.
- $f_i$  = fuerza sísmica horizontal en el nivel  $i$  para ser utilizada en la ecuación A.4-1.
- $g$  = aceleración debida a la gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>).
- $h_i, h_x$  = altura en metros, medida desde la base, del nivel  $i$  o  $x$ . Véase A.4.3.2.
- $h_n$  = altura en metros, medida desde la base, del piso más alto del edificio. Véase A.4.2.2.
- $I$  = coeficiente de importancia dado en A.2.5.2.
- $k$  = exponente relacionado con el período fundamental de la edificación dado en A.4.3.2.
- $M$  = masa total de la edificación -  $M$  debe ser igual a la masa total de la estructura más la masa de aquellos elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos o bodegas debe incluirse además un 25 por ciento de la masa correspondiente a los elementos que causan la carga viva del piso. Capítulos A.4 y A.5 (en kg).
- $m_i, m_x$  = parte de  $M$  que está colocada en el nivel  $i$  o  $x$  respectivamente
- $S_a$  = valor del espectro de aceleraciones de diseño para un período de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un período de vibración  $T$ . Está definido en A.2.6.
- $T$  = período fundamental del edificio como se determina en A.4.2.
- $T_a$  = período de vibración fundamental aproximado. Véase A.4.2.
- $V_s$  = cortante sísmico en la base, para las fuerzas sísmicas. Véase A.4.3.
- $d_i$  = desplazamiento horizontal del nivel  $i$  con respecto a la base de la estructura, debido a las fuerzas horizontales  $f_i$ , para ser utilizado en la ecuación A.4-1.

#### A.4.1 - GENERAL

**A.4.1.1** - Los requisitos de este Capítulo controlan la obtención de las fuerzas sísmicas horizontales de la edificación y el análisis sísmico de la misma, de acuerdo con los requisitos dados en el Capítulo A.3 para la utilización del método de la fuerza horizontal equivalente.

#### A.4.2 - PERIODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACION

**A.4.2.1** - El valor del período fundamental de la edificación,  $T$ , debe obtenerse a partir de las propiedades de su sistema de resistencia sísmica, en la dirección bajo consideración, de acuerdo con los principios de la dinámica estructural, utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura. Este requisito puede suplirse por medio del uso de la siguiente ecuación:

$$T = 2p \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \dot{a}(m_i d_i^2)}{\sum_{i=1}^n \dot{a}(f_i d_i)}} \quad (\text{A.4-1})$$

Los valores de  $f_i$  representan unas fuerzas horizontales distribuidas aproximadamente de acuerdo con las ecuaciones A.4-6 y A.4-7, o utilizando cualquier otra distribución racional que se aproxime a la del modo fundamental de la estructura en la dirección en estudio. Las deflexiones horizontales,  $d_i$ , deben calcularse utilizando las fuerzas horizontales  $f_i$ . El valor de  $T$  no puede exceder  $1.2T_a$ , donde  $T_a$  se calcula de acuerdo con la ecuación A.4-2.

**A.4.2.2** - Alternativamente el valor de  $T$  puede ser igual al período fundamental aproximado,  $T_a$ , que se obtenga por medio de la ecuación A.4-2.

$$T_a = C_t h_n^{3/4} \quad (\text{A.4-2})$$

donde  $C_t$  toma los siguientes valores:

$C_t = 0.08$  para pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado y para pórticos de acero estructural con diagonales excéntricas.

$C_t = 0.09$  para pórticos resistentes a momentos de acero estructural.

$C_t = 0.05$  para los otros tipos de sistema de resistencia sísmica.

Alternativamente, el valor de  $C_t$  para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, puede calcularse por medio de la ecuación A.4-3:

$$C_t = \frac{0.075}{\sqrt{A_c}} \text{ } \leq 0.07 \quad (\text{A.4-3})$$

y el valor de  $A_c$  puede determinarse por medio de la ecuación A.4-4:

$$A_c = \sum_{i=1}^n \frac{A_{c,i}}{h_n} + 0.2 \sum_{i=1}^n \frac{D_e}{h_n} \quad (\text{A.4-4})$$

El valor de  $D_e/h_n$  utilizado en la ecuación A.4-4 no debe exceder **0.9**.

### **A.4.3 - FUERZAS SISMICAS HORIZONTALES EQUIVALENTES**

**A.4.3.1** - El cortante sísmico en la base,  $V_s$ , equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio, se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_s = S_a g M \quad (\text{A.4-5})$$

El valor de  $S_a$  en la ecuación anterior corresponde al valor de la aceleración, como fracción de la de la gravedad, leída en el espectro definido en A.2.6 para el período  $T$  de la edificación.

**A.4.3.2** - La fuerza sísmica horizontal,  $F_x$ , en cualquier nivel  $x$ , para la dirección en estudio, debe determinarse usando la siguiente ecuación:

$$F_x = C_{vx} V_s \quad (\text{A.4-6})$$

y

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)} \quad (\text{A.4-7})$$

donde  $k$  es un exponente relacionado con el período fundamental,  $T$ , de la edificación de la siguiente manera:

- (a) para T menor o igual a 0.5 segundos,  $k = 1.0$ ,
- (b) para T entre 0.5 y 2.5 segundos,  $k = 0.75 + 0.5 T$ , y
- (c) para T mayor que 2.5 segundos,  $k = 2.0$ .

#### **A.4.4 - ANALISIS DE LA ESTRUCTURA**

**A.4.4.1** - El efecto de las fuerzas sísmicas, obtenidas de acuerdo con los requisitos de A.4.3, correspondientes a cada nivel, debe evaluarse por medio de un análisis realizado utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura, que represente adecuadamente las características del sistema estructural. El análisis, realizado de acuerdo con los principios de la mecánica estructural, debe tenerse en cuenta, como mínimo:

- (a) las condiciones de apoyo de la estructura, especialmente cuando se combinen elementos verticales de resistencia sísmica con diferencias apreciables en su rigidez,
- (b) el efecto de diafragma, rígido o flexible, de los entresijos de la edificación, en la distribución del cortante sísmico del piso a los elementos verticales del sistema estructural de resistencia sísmica,
- (c) las variaciones en las fuerzas axiales de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica causadas por los momentos de vuelco que inducen las fuerzas sísmicas,
- (d) los efectos torsionales prescritos en A.3.6.7,
- (e) los efectos de la dirección de aplicación de la fuerza sísmica prescritos en A.3.6.3,
- (f) en estructuras de concreto reforzado y mampostería estructural, a juicio del ingeniero diseñador, consideraciones acerca del grado de fisuración de los elementos, compatibles con las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía prescrito para el material estructural, y
- (g) deben consultarse los requisitos de A.3.4.3.

**A.4.4.2** - Como resultados del análisis se deben obtener, como mínimo:

- (a) los desplazamientos horizontales de la estructura, incluyendo los efectos torsionales, que se emplean para evaluar si las derivas de la estructura cumplen los requisitos dados en el Capítulo A.6,
- (b) la distribución del cortante de piso, incluyendo los efectos torsionales, a todos los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica,
- (c) los efectos de las fuerzas sísmicas en la cimentación de la edificación, y
- (d) las fuerzas internas (momentos flectores, fuerzas cortantes, fuerzas axiales y momentos de torsión) correspondientes a cada elemento que haga parte del sistema de resistencia sísmica.

#### **A.4.5 – USO DEL SISTEMA INTERNACIONAL DE MEDIDAS (SI) EN EL CALCULO DE LAS FUERZAS SISMICAS DE ACUERDO CON ESTE CAPITULO**

En el Sistema Internacional de Medidas (SI) el kg (kilogramo) es una unidad de masa, por lo tanto la masa de la estructura se debe expresar en kg. Aplicando la 2ª Ley de Newton que dice que la fuerza inercial es igual a la masa del cuerpo multiplicada por su aceleración; si la masa está sometida a una aceleración en  $m/s^2$ , se obtiene una fuerza cuyas unidades son  $(kg \cdot m / s^2)$ . Por definición, en el sistema SI la unidad de fuerza es un newton (N) y corresponde a la fuerza inercial de una masa de 1 kg sometida a una aceleración de  $1 m/s^2$  ( $1 N = 1 kg \cdot 1 m/s^2$ ). Entonces, si la masa se expresa en kg y las aceleraciones en  $m/s^2$ , se obtiene fuerzas inerciales en newtons.

La ecuación A.4-5 es una aplicación de la 2ª Ley de Newton y se emplea para determinar las fuerzas inerciales horizontales que producen los movimientos del terreno causados por el sismo de diseño. El valor de la aceleración horizontal máxima que tiene el terreno donde se apoya la estructura, se lee del espectro de aceleraciones,  $S_a$ , definido en el Capítulo A.2 para el período fundamental de vibración de la estructura T. El espectro  $S_a$  es adimensional, y corresponde a la aceleración horizontal que impone el sismo en la base de la estructura, expresada como una fracción de la gravedad, por lo tanto para obtener la aceleración en  $m/s^2$ , debe multiplicarse por la aceleración de la gravedad, g ( $g = 9.8 m/s^2$ ). Al utilizar la ecuación A.4-5, si la masa total de la edificación, M, se expresa en kg, entonces la totalidad de las fuerzas inerciales horizontales que actúan sobre la estructura cuando ésta se ve sometida al sismo de diseño,  $V_s$ , se obtiene en newtons así:

$$V_s = S_a \times g \text{ (m/s}^2\text{)} \times M \text{ (kg)} = S_a \times g \times M \text{ (kg} \times \text{m/s}^2\text{)} = S_a \times g \times M \text{ (N)}$$

Pero en el diseño práctico de edificaciones, tanto el kg como el N, son unidades muy pequeñas; por esta razón es conveniente expresar la masa en Mg (Megagramos,  $1 Mg = 1\,000\text{ kg} = 10^6\text{ g}$ ). En este caso la aplicación de la

ecuación A.4-5 conduce a una fuerza,  $V_s$ , en kN (kilonewtons):

$$V_s = S_a \times g \text{ (m/s}^2\text{)} \times M \text{ (Mg)} = S_a \times g \times M \text{ (Mg} \times \text{m/s}^2\text{)} = S_a \times g \times M \text{ (1000} \times \text{kg} \times \text{m/s}^2\text{)} = S_a \times g \times M \text{ (1000} \times \text{N)} = S_a \times g \times M \text{ (kN)}$$

A modo de referencia, en el antiguo sistema mks (m-kgf-s, metro-kilogramo fuerza-segundo)  $1 \text{ kgf} = 9.8 \text{ N} \cong 10 \text{ N}$ , y análogamente  $1000 \text{ kgf} = 1 \text{ ton} = 9\,806.65 \text{ N} \cong 10\,000 \text{ N} = 10 \text{ kN}$ . Entonces un kN es aproximadamente un décimo de tonelada.

---





## CAPITULO A.5

### METODO DEL ANALISIS DINAMICO

#### A.5.0 - NOMENCLATURA

$E$	=	fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E = F_s / R$ )
$F_s$	=	fuerzas sísmicas, véase A.3.1.1.
$g$	=	aceleración debida a la gravedad ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ).
$M$	=	masa total de la edificación - $M$ debe ser igual a la masa total de la estructura más la masa de aquellos elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos o bodegas debe incluirse además un 25 por ciento de la masa correspondiente a los elementos que causan la carga viva del piso. Capítulos A.4 y A.5 (en kg).
$\bar{M}_j$	=	masa actuante total de la edificación en la dirección $j$ . Ecuación A.5-1.
$\bar{M}_m$	=	masa efectiva modal del modo $m$ , determinada de acuerdo con la ecuación A.5-2.
$m_i, m_x$	=	parte de $M$ que está colocada en el nivel $i$ o $x$ , respectivamente.
$p$	=	número total de modos utilizado en el análisis modal de la estructura.
$R_0$	=	coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural. Capítulo A.3.
$R$	=	coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ( $R = f_a f_p R_0$ ).
$S_{am}$	=	valor del espectro de aceleraciones de diseño para el período de vibración $T_m$ , correspondiente al modo de vibración $m$ .
$T_a$	=	período de vibración fundamental aproximado, en segundos, calculado de acuerdo con A.4.2.
$T_m$	=	período de vibración correspondiente al modo de vibración $m$ , en s.
$V_{mj}$	=	cortante sísmico en la base correspondiente al modo $m$ en la dirección horizontal $j$ .
$V_{tj}$	=	cortante sísmico en la base total en la dirección horizontal $j$ .
$f_{ij}^m$	=	amplitud de desplazamiento del nivel $i$ , en la dirección $j$ , cuando está vibrando en el modo $m$ .

#### A.5.1 - GENERAL

**A.5.1.1** - Los métodos de análisis dinámico deben cumplir los requisitos de este Capítulo y los demás del presente título del Reglamento.

**A.5.1.2** - Los métodos de análisis dinámico pueden utilizarse en el diseño sísmico de todas las edificaciones cubiertas por este Reglamento y deben utilizarse en el diseño de las edificaciones indicadas en A.3.4.2.2.

**A.5.1.3** - Los resultados obtenidos utilizando los métodos de análisis dinámico deben ajustarse a los valores mínimos prescritos en este Capítulo para cada uno de ellos. Los valores mínimos a los cuales deben ajustarse, están referidos a los valores que se obtienen utilizando el método de la fuerza horizontal equivalente presentado en el Capítulo A.4. (Véase A.5.4.5).

**A.5.1.4** - Todas las metodologías de análisis dinámico que se utilicen deben estar basadas en principios establecidos de la mecánica estructural, que estén adecuadamente sustentados analítica o experimentalmente.

**A.5.1.5** - El ingeniero diseñador debe asegurarse que los procedimientos de análisis dinámico, manuales o electrónicos, que utilice, cumplen los principios de la mecánica estructural y en especial los requisitos del presente Capítulo. El Reglamento no exige un procedimiento determinado y deja en manos del diseñador su selección y por ende la responsabilidad de que se cumplan los principios enunciados aquí. Es responsabilidad del diseñador garantizar que los procedimientos electrónicos, si son utilizados, describan adecuadamente la respuesta dinámica de la estructura tal como la prescriben los requisitos del presente Capítulo.

## A.5.2 - MODELO MATEMATICO

**A.5.2.1 - MODELO MATEMATICO A EMPLEAR** - El modelo matemático de la estructura debe describir la distribución espacial de la masa y la rigidez, de tal manera que sea adecuado para calcular las características relevantes de la respuesta dinámica de la misma. Como mínimo deben utilizarse los siguientes procedimientos:

**A.5.2.1.1 - Modelo tridimensional con diafragma rígido** - En este tipo de modelo los entrepisos se consideran diafragmas infinitamente rígidos en su propio plano. La masa de cada diafragma se considera concentrada en su centro de masa. Los efectos torsionales accidentales pueden ser incluidos haciendo ajustes apropiados en la localización de los centros de masa de los diafragmas. Los efectos direccionales pueden ser tomados en cuenta a través de las componentes apropiadas de los desplazamientos de los grados de libertad horizontales ortogonales del diafragma. Este procedimiento debe utilizarse cuando se presentan irregularidades en planta del tipo 1P, 4P o 5P, tal como las define A.3.3.4 (tabla A.3-6), y en aquellos casos en los cuales, a juicio del ingeniero diseñador, este es el procedimiento más adecuado.

**A.5.2.1.2 - Modelo tridimensional con diafragma flexible** - En este tipo de modelo se considera que las masas aferentes a cada nudo de la estructura pueden desplazarse y girar en cualquier dirección horizontal o vertical. La rigidez de los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica se describe tridimensionalmente. El diafragma se representa por medio de elementos que describan adecuadamente su flexibilidad. Este procedimiento debe utilizarse cuando no existe un diafragma propiamente dicho, cuando el diafragma es flexible, o cuando se presentan irregularidades en planta del tipo 2P o 3P, tal como las define A.3.3.4 (tabla A.3-6), y en aquellos casos en los cuales, a juicio del ingeniero diseñador, éste es el procedimiento más adecuado.

**A.5.2.1.3 - Modelos limitados a un plano vertical** - En este tipo de modelo la respuesta de la estructura se limita a movimientos horizontales en una sola dirección. Este modelo se permite en todos los casos que no están cubiertos por A.5.2.1.1. y A.5.2.1.2. Los efectos torsionales de los pisos deben evaluarse independientemente y adicionarse a los valores obtenidos del análisis en un plano. De igual manera los efectos producidos por la dirección de incidencia de los movimientos sísmicos del terreno deben evaluarse por separado y adicionarse a los valores obtenidos del análisis dinámico.

**A.5.2.1.4 - Otros modelos** - Si a juicio del ingeniero diseñador las características de rigidez o de masa de la estructura lo requieren, se permite el uso de modelos de análisis inelástico dinámico o de métodos alternos, tal como lo indica A.3.4.1.

**A.5.2.2 - MASA DE LA EDIFICACION** - Las masas de la edificación que se utilicen en el análisis dinámico deben ser representativas de las masas que existirán en la edificación cuando ésta se vea sometida a los movimientos sísmicos de diseño. Para efectos de los requisitos de este Reglamento, la masa total de la edificación se puede tomar como  $M$ . La distribución de la masa de la edificación debe representar la distribución real de las distintas masas de la edificación.

**A.5.2.3 - RIGIDEZ EN LOS METODOS DINAMICOS ELASTICOS** - La rigidez que se utilice en los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica cuando se empleen métodos dinámicos elásticos, debe seleccionarse cuidadosamente y debe ser representativa de la rigidez cuando éstos se vean sometidos a los movimientos sísmicos de diseño. En las estructuras de concreto y mampostería, la rigidez que se asigne debe ser consistente con el grado de fisuración que puedan tener los diferentes elementos al verse sometidos a las deformaciones que imponen los movimientos sísmicos de diseño. Cuando haya variaciones apreciables en la rigidez de los diferentes elementos verticales del sistema de resistencia sísmica que contribuyen a la resistencia de las mismas componentes del movimiento, la rigidez que se le asigne a cada uno de ellos debe ser consistente con los niveles de deformación.

**A.5.2.4 - RIGIDEZ EN LOS METODOS DINAMICOS INELASTICOS** - Los modelos matemáticos utilizados para describir la rigidez de los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica, cuando se empleen métodos dinámicos inelásticos, debe ser consistente con el grado de capacidad de disipación de energía del material, con los niveles esperados de deformación y con las secuencia de esfuerzos y deformaciones que se presente durante la respuesta. Los modelos de rigidez utilizados deben estar adecuadamente sustentados analítica o experimentalmente.

### A.5.3 - REPRESENTACION DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS

**A.5.3.1 - GENERALIDADES** - De acuerdo con la representación de los movimientos sísmicos de diseño empleada en el análisis dinámico, los procedimientos se dividen en:

- (a) procedimientos espectrales, y
- (b) procedimientos de análisis cronológico.

**A.5.3.2 - PROCEDIMIENTOS ESPECTRALES** - En los procedimientos espectrales debe utilizarse el espectro de diseño definido en A.2.6.

**A.5.3.3 - PROCEDIMIENTOS CRONOLOGICOS** - En los procedimientos cronológicos deben utilizarse familias de acelerogramas, tal como las define A.2.7.

### A.5.4 - ANALISIS DINAMICO ELASTICO ESPECTRAL

**A.5.4.1 - METODOLOGIA DEL ANALISIS** - Deben tenerse en cuenta los siguientes requisitos, cuando se utilice el método de análisis dinámico elástico espectral:

- (a) **Obtención de los modos de vibración** - Los modos de vibración deben obtenerse utilizando metodologías establecidas de dinámica estructural. Deben utilizarse todos los modos de vibración de la estructura que contribuyan de una manera significativa a la respuesta dinámica de la misma, cumpliendo los requisitos de A.5.4.2.
- (b) **Respuesta espectral modal** - La respuesta máxima de cada modo se obtiene utilizando las ordenadas del espectro de diseño definido en A.5.3.2, para el período de vibración propio del modo.
- (c) **Respuesta total** - Las respuestas máximas modales, incluyendo las de deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos, se combinan de una manera estadística para obtener la respuesta total de la estructura a los movimientos sísmicos de diseño. Deben cumplirse los requisitos de A.5.4.4 en la combinación estadística de las respuestas modales máximas.
- (d) **Ajuste de los resultados** - Si los resultados de la respuesta total son menores que los valores mínimos prescritos en A.5.4.5, los resultados totales del análisis dinámico deben ser ajustados como se indica allí. El ajuste debe cubrir todos los resultados del análisis dinámico, incluyendo las deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos.
- (e) **Evaluación de las derivas** - Se debe verificar que las derivas totales obtenidas, debidamente ajustadas de acuerdo con los requisitos de A.5.4.5, no excedan los límites establecidos en el Capítulo A.6.
- (f) **Fuerzas de diseño en los elementos** - Las fuerzas sísmicas internas totales de los elementos,  $F_s$ , debidamente ajustadas de acuerdo con los requisitos de A.5.4.5, se dividen por el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$ , del sistema de resistencia sísmica, modificado de acuerdo con la irregularidad según los requisitos de A.3.3.3, para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño,  $E$ , y se combinan con las otras cargas prescritas por este Reglamento, de acuerdo con el Título B.
- (g) **Diseño de los elementos estructurales** - Los elementos estructurales se diseñan y detallan siguiendo los requisitos propios del grado de capacidad de disipación de energía correspondiente del material, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.3.

**A.5.4.2 - NUMERO DE MODOS DE VIBRACION** - Deben incluirse en el análisis dinámico todos los modos de vibración que contribuyan de una manera significativa a la respuesta dinámica de la estructura. Se considera que se ha cumplido este requisito cuando se demuestra que, con el número de modos empleados,  $p$ , se ha incluido en el cálculo de la respuesta, de cada una de las direcciones horizontales principales,  $j$ , por lo menos el 90 por ciento de la masa participante de la estructura. La masa participante,  $\bar{M}_j$ , en cada una de las direcciones principales,  $j$ , para el número de modos empleados,  $p$ , se determina por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\bar{M}_j = \sum_{m=1}^p \bar{a}_m \bar{M}_{mj} \cong 0.90 M \quad (\text{A.5-1})$$

$$\bar{M}_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i \dot{a}_{m_i} f_{ij}^m \ddot{0}^2}{\sum_{i=1}^n \dot{a}_{m_i} (f_{ij}^m)^2} \quad (\text{A.5-2})$$

**A.5.4.3 - CALCULO DEL CORTANTE MODAL EN LA BASE** - La parte del cortante en la base contribuida por el modo  $m$  en la dirección horizontal  $j$ ,  $V_{mj}$ , debe determinarse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{mj} = S_{am} g \bar{M}_{mj} \quad (\text{A.5-3})$$

donde  $\bar{M}_{mj}$  está dado por la ecuación A.5-2, y  $S_{am}$  es el valor leído del espectro elástico de aceleraciones,  $S_a$ , para el período de vibración  $T_m$  correspondiente al modo de vibración  $m$ . El cortante modal total en la base,  $V_{ij}$ , en la dirección  $j$  se obtiene combinando los cortantes contribuidos por cada modo,  $V_{mj}$ , en la misma dirección de acuerdo con el procedimiento de A.5.4.4.

**A.5.4.4 - COMBINACION DE LOS MODOS** - Las respuestas máximas obtenidas para cada modo,  $m$ , de las deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos, deben combinarse utilizando métodos apropiados y debidamente sustentados, tales como el de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados u otros. Debe tenerse especial cuidado cuando se calculen las combinaciones de las derivas, calculando la respuesta máxima de la deriva causada por cada modo independientemente y combinándolas posteriormente. No es permitido obtener las derivas totales a partir de deflexiones horizontales que ya han sido combinadas. Cuando se utilicen modelos matemáticos de análisis tridimensional deben tenerse en cuenta los efectos de interacción modal.

**A.5.4.5 - AJUSTE DE LOS RESULTADOS** - El valor del cortante dinámico total en la base,  $V_{ij}$ , obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones principales,  $j$ , no puede ser menor que los siguientes valores:

- (a) para edificios clasificados como irregulares de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.3, no puede ser menor que el valor del cortante sísmico en la base,  $V_s$ , calculado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.4, y
- (b) para edificios clasificados como regulares de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.3, no puede ser menor que el 80 por ciento del valor del cortante sísmico en la base,  $V_s$ , calculado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.4 utilizando el período de vibración aproximado  $T_a$  dado en A.4.2.2.

El ajuste debe realizarse proporcionalmente a todos los parámetros de la respuesta dinámica, tales como deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos. Cuando el cortante sísmico en la base,  $V_{ij}$ , obtenido después de realizar la combinación modal, para cualquiera de las direcciones principales, excede los valores prescritos anteriormente, todos los parámetros de la respuesta dinámica total, tales como deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos, pueden reducirse proporcionalmente, a juicio del diseñador.

**A.5.4.6 - EFECTOS DIRECCIONALES** - Los efectos direccionales de los movimientos sísmicos de diseño deben tenerse en cuenta de acuerdo con los requisitos de A.3.6.3. Los efectos de la aceleración vertical de los movimientos sísmicos en los voladizos y elementos preesforzados debe tenerse en cuenta siguiendo los requisitos de A.3.6.13 o alternativamente por medio de un procedimiento de análisis dinámico, pero en ningún caso los resultados obtenidos por medio de este procedimiento alternativo puede conducir a resultados menores que los obtenidos por medio de A.3.6.13.

**A.5.4.7 - TORSION** - El análisis dinámico debe tener en cuenta los efectos torsionales de toda la estructura, incluyendo aquellos producidos por la torsión accidental. Cuando se utilicen modelos matemáticos tridimensionales de diafragma rígido, los efectos de la torsión accidental pueden tenerse en cuenta por medio de ajustes apropiados al modelo, tales como cambios en la localización de los centros de gravedad de las masas, o por medio de procedimientos estáticos equivalentes, como lo indicados en A.3.6.7.

**A.5.4.8 - SISTEMAS DUALES** - Cuando el sistema de resistencia sísmica corresponda a un sistema dual, tal como lo define A.3.2.1.4, el sistema debe ser capaz, en conjunto, de resistir el cortante total en la base que se obtiene por medio del análisis dinámico. El análisis del pórtico espacial resistente a momentos, actuando independientemente

como lo prescribe A.3.2.1.4 (b), puede llevarse a cabo por medio de un análisis dinámico apropiado, o por medio de un análisis de fuerza horizontal equivalente de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.4.

## A.5.5 - METODO DE ANALISIS DINAMICO CRONOLOGICO

**A.5.5.1 - GENERALIDADES** - La metodología de análisis dinámico cronológico puede ser utilizada cuando a juicio del ingeniero diseñador ella describe adecuadamente las propiedades dinámicas de la estructura y conduce a resultados representativos de los movimientos sísmicos de diseño. El modelo matemático empleado puede ser linealmente elástico o inelástico.

**A.5.5.2 - RESPUESTA MAXIMA** - Deben determinarse las respuestas máximas de las deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en las base y fuerzas en los elementos, para el conjunto de registros de la familia de acelerogramas requerida por A.2.7.1.

**A.5.5.3 - AJUSTE DE LOS RESULTADOS** - El valor del cortante dinámico total en la base,  $V_{ij}$ , obtenido para cualquiera de las direcciones principales,  $j$ , no puede ser menor que los siguientes valores:

- (a) para edificios clasificados como irregulares de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.3, no puede ser menor que el valor del cortante sísmico en la base,  $V_s$ , calculado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.4, y
- (b) para edificios clasificados como regulares de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.3, no puede ser menor que el 80 por ciento del valor del cortante sísmico en la base,  $V_s$ , calculado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.4 utilizando el período de vibración aproximado  $T_a$  dado en A.4.2.2.

El ajuste debe realizarse proporcionalmente a todos los parámetros de la respuesta dinámica, tales como deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos.

**A.5.5.4 - FUERZAS DE DISEÑO EN LOS ELEMENTOS** - Para obtener las fuerzas de diseño de los elementos, se utilizan las fuerzas sísmicas internas máximas en los elementos,  $F_s$ , debidamente ajustadas de acuerdo con los requisitos de A.5.5.3, así:

- (a) cuando se trate de un análisis dinámico elástico, se dividen por el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$ , del sistema de resistencia sísmica, modificado de acuerdo con la irregularidad según los requisitos de A.3.3.3, para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño,  $E$ , y se combinan con las otras cargas prescritas por este Reglamento, de acuerdo con los requisitos del Título B, y
- (b) en los casos de análisis dinámico inelástico, las fuerzas al nivel en que ocurre la plastificación corresponde a las fuerzas sísmicas reducidas de diseño,  $E$ , y no deben ser divididas por el coeficiente de capacidad de disipación de energía. Debe verificarse que las combinaciones de carga prescritas por este Reglamento, de acuerdo con los requisitos del Título B, exceptuando aquellas que incluyen sismo, en ningún caso conducen a esfuerzos mayores que los de plastificación.

**A.5.5.5 - FUERZAS DE DISEÑO EN LA CIMENTACION** - Para obtener las fuerzas de diseño de la cimentación, se debe cumplir lo prescrito en A.3.7.2 cuando se trate de una análisis dinámico elástico. En el caso de un análisis dinámico inelástico no hay necesidad de dividir por  $R$  para encontrar las fuerzas sísmicas reducidas de diseño,  $E$ , de los elementos estructurales de la cimentación ni los esfuerzos sobre el suelo, los cuales solo deben multiplicarse por el coeficiente de carga igual a 0.7.





## CAPITULO A.6

### REQUISITOS DE LA DERIVA

#### A.6.0 - NOMENCLATURA

- $h_{pi}$  = altura del piso  $i$ , medida desde la superficie del diafragma del piso  $i$  hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior,  $i-1$ .
- $j$  = índice de una de las direcciones ortogonales principales en planta, puede ser  $x$  o  $y$ .
- $P_i$  = suma de la carga vertical total, incluyendo muerta y viva, que existe en el piso  $i$ , y todos los pisos localizados por encima. Para el cálculo de los efectos P-Delta, no hay necesidad que los coeficientes de carga de sean mayores que la unidad.
- $Q_i$  = índice de estabilidad, del piso  $i$ , utilizado en la evaluación de los efectos P-Delta. Véase A.6.2.5.
- $r_j$  = proyección, sobre la dirección perpendicular en planta a la dirección bajo estudio, de la distancia entre el centro de masa del piso y el punto de interés
- $T$  = período fundamental del edificio como se determina en A.4.2.
- $T_a$  = período de vibración fundamental aproximado. Véase A.4.2.
- $V_i$  = fuerza cortante del piso  $i$ , en la dirección bajo estudio, sin dividir por  $R$ . Se determina por medio de la ecuación A.3-2. Corresponde a la suma de las fuerzas horizontales sísmicas que se aplican al nivel  $i$ , y todos los niveles localizados por encima de él.
- $D_{cm}$  = deriva del piso  $i$ , en la dirección bajo estudio, medida en el centro de masa del piso, como la diferencia entre el desplazamiento horizontal del piso  $i$  menos el del piso  $i-1$ .
- $D_{max}^i$  = deriva máxima para cualquier punto del piso  $i$ .
- $d_{cm,j}$  = desplazamiento horizontal, del centro de masa del piso, en la dirección  $j$ .
- $d_{pd,j}$  = desplazamiento horizontal adicional, del centro de masa del piso, causado por efectos P-Delta, en la dirección  $j$ .
- $d_{t,j}$  = desplazamiento horizontal adicional causado por efectos de torsión, de cualquier grado de libertad de la estructura, en la dirección  $j$ .
- $d_{tot,j}$  = desplazamiento total horizontal, de cualquier grado de libertad de la estructura, en la dirección  $j$ .
- $q_i$  = rotación alrededor de un eje vertical que pasa por el centro de masa del piso  $i$ , causada por los efectos torsionales, en radianes.

#### A.6.1 - GENERAL

**A.6.1.1 - ALCANCE** - En el presente Capítulo se dan los procedimientos para calcular la deriva así como sus límites permisibles.

**A.6.1.2 - DEFINICION DE DERIVA** - Se entiende por deriva el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos. de la edificación.

**A.6.1.3 - NECESIDAD DE CONTROLAR LA DERIVA** - La deriva está asociada con los siguientes efectos durante un temblor:

- (a) Deformación inelástica de los elementos estructurales y no estructurales.
- (b) Estabilidad global de la estructura.
- (c) Daño a los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica y a los elementos no estructurales, tales como muros divisorios, particiones, enchapes, acabados, instalaciones eléctricas, mecánicas, etc.
- (d) Alarma y pánico entre las personas que ocupen la edificación.

Por las razones anteriores es fundamental llevar a cabo durante el diseño un estricto cumplimiento de los requisitos de deriva dados en el presente Capítulo, con el fin de garantizar el cumplimiento del propósito del Reglamento y un adecuado comportamiento de la estructura y su contenido.

## A.6.2 - CALCULO DEL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL

**A.6.2.1 - DESPLAZAMIENTOS TOTALES HORIZONTALES** - Los desplazamientos horizontales, en las dos direcciones principales ortogonales en planta, que tienen todos los grados de libertad de la estructura al verse afectada por los movimientos sísmicos de diseño definidos en A.2.2, se determinan por medio del análisis estructural realizado utilizando el método de análisis definido en A.3.4 y con las rigideces indicadas en A.3.4.3. Los desplazamientos totales horizontales,  $d_{tot,j}$ , en cualquiera de las direcciones principales en planta,  $j$ , y para cualquier grado de libertad de la estructura, se obtienen de la siguiente suma de valores absolutos:

$$d_{tot,j} = |d_{cm,j}| + |d_{t,j}| + |d_{pd,j}| \quad (A.6-1)$$

donde  $d_{cm,j}$  corresponde al desplazamiento horizontal del centro de masa en la dirección bajo estudio,  $j$ ;  $d_{t,j}$  el desplazamiento adicional causado por los efectos torsionales en la dirección bajo estudio,  $j$ , y  $d_{pd,j}$  al desplazamiento adicional causado por el efecto P-Delta en la dirección bajo estudio,  $j$ . Cuando se utilicen los procedimientos de interacción suelo-estructura, o cuando A.3.4.2 así lo requiera, deben incluirse dentro de los desplazamientos totales, los desplazamientos adicionales obtenidos de acuerdo con el procedimiento del Capítulo A.7.

**A.6.2.1.1** - Cuando se utilice el método de la fuerza horizontal equivalente, las fuerzas horizontales que se empleen para determinar los desplazamientos horizontales y torsionales en el centro de masa pueden calcularse utilizando el período,  $T$ , que se obtiene por medio de la ecuación A.4-1 de A.4.2.1, aplicando el límite de  $1.2T_a$  indicado allí.

**A.6.2.1.2** - Cuando se emplee el método de la fuerza horizontal equivalente, y el valor de  $T$ , o de  $1.2T_a$ , sea mayor que  $T_L$  calculado utilizando la ecuación A.2-4, en la determinación de las fuerzas horizontales que se empleen para determinar los desplazamientos horizontales y torsionales en el centro de masa no hay necesidad de emplear el límite dado por la ecuación A.2-5.

**A.6.2.1.3** - En las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso **II**, **III** y **IV**, para la determinación de las fuerzas horizontales que se empleen para calcular los desplazamientos horizontales y torsionales en el centro de masa, se permite que el coeficiente de importancia  $I$ , tenga un valor igual a la unidad ( $I = 1.0$ ), y las fuerzas de diseño a emplear para obtener la resistencia de la estructura deben utilizar el valor del coeficiente de importancia  $I$  correspondiente al grupo de uso de la edificación, tal como se define en A.2.5.2.

**A.6.2.2 - DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES EN EL CENTRO DE MASA DEL PISO** - Corresponden a los desplazamientos horizontales, en las dos direcciones principales en planta, que tiene el centro de masa del piso. Se incluye dentro de ellas la rotación alrededor de un eje vertical que pasa por el centro de masa, causada por los efectos torsionales.

**A.6.2.3 - EFECTOS TORSIONALES** - Corresponden a los desplazamientos horizontales adicionales, en las dos direcciones principales ortogonales en planta, causados por la rotación de toda la estructura con respecto a un eje vertical y debida a los efectos torsionales definidos en A.3.6.7. Cuando los diafragmas no son flexibles el incremento en desplazamiento horizontal causado por los efectos torsionales en cualquiera de las dos direcciones principales en planta, se obtiene de:

$$d_{t,j} = r_j q_i \quad (A.6-2)$$

donde  $d_{t,j}$  es el incremento en desplazamiento horizontal causado por los efectos torsionales en un punto dentro del nivel  $i$ , en una de las direcciones principales en planta,  $r_j$  es la proyección sobre la dirección perpendicular en planta a la dirección bajo estudio,  $j$ , de la distancia entre el centro de masa del piso y el punto de interés, y  $q_i$  es la rotación alrededor de un eje vertical que pasa por el centro de masa del nivel  $i$ , causada por los efectos torsionales.

**A.6.2.4 - EFECTOS P-DELTA** - Corresponden a los efectos adicionales, en las dos direcciones principales en planta, causados por los efectos de segundo orden (efectos P-Delta) de la estructura. Los efectos P-Delta producen un aumento en las deflexiones horizontales y en las fuerzas internas de la estructura. Estos efectos deben tenerse en cuenta cuando el índice de estabilidad,  $Q_i$ , es mayor de 0.10. El índice de estabilidad, para el piso  $i$  y en la dirección bajo estudio, se calcula por medio de la siguiente ecuación:



$$Q_i = \frac{P_i D_{cm}}{V_i h_{pi}} \quad (\text{A.6-3})$$

El índice de estabilidad de cualquier piso,  $Q_i$ , no debe exceder el valor de 0.30. Cuando el valor de  $Q_i$  es mayor que 0.30, la estructura es potencialmente inestable y debe rigidizarse, a menos que se cumplan, en estructuras de concreto reforzado, la totalidad de los requisitos enumerados en C.10.11.6.2(b).

La deflexión adicional causada por el efecto P-Delta en la dirección bajo estudio y para el piso  $i$ , se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$d_{pd} = d_{cm} \frac{Q_i \bar{\theta}}{1 - Q_i} \quad (\text{A.6-4})$$

**A.6.2.4.1** - Alternativamente, los efectos P-Delta pueden evaluarse siguiendo los requisitos de C.10.11 en estructuras de concreto reforzado.

**A.6.2.4.2** - Cuando el índice de estabilidad es mayor de 0.10, los efectos P-Delta en las fuerzas internas de la estructura causadas por las cargas laterales deben aumentarse, multiplicándolas en cada piso por el factor  $1/(1-Q_i)$ .

### A.6.3 - EVALUACION DE LA DERIVA MAXIMA

**A.6.3.1 - DERIVA MAXIMA** - La deriva máxima en cualquier punto del piso  $i$ , se obtiene como la diferencia entre lo desplazamientos horizontales totales máximos del punto en el piso  $i$  y los desplazamientos horizontales totales máximos de un punto localizado en el mismo eje vertical en el piso  $i-1$ , por medio de la siguiente ecuación:

$$D_{max}^i = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (d_{tot,j}^i - d_{tot,j}^{i-1})^2} \quad (\text{A.6-5})$$

**A.6.3.1.1** - El cumplimiento del cálculo de la deriva para cualquier punto del piso se puede realizar verificándola solamente en todos los ejes verticales de columna y en los puntos localizados en los bordes de los muros estructurales.

### A.6.4 - LIMITES DE LA DERIVA

**A.6.4.2** - La deriva máxima evaluada en cualquier punto de la estructura, determinada de acuerdo con el procedimiento de A.6.3.1, no puede exceder los límites establecidos en la tabla A.6-1, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso  $h_{pi}$ :

Tabla A.6-1  
DERIVAS MAXIMAS COMO PORCENTAJE DE  $h_{pi}$

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ( $D_{max}^i \leq 0.010 h_{pi}$ )
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ( $D_{max}^i \leq 0.005 h_{pi}$ )

**A.6.4.2.1** - Cuando se utilicen secciones fisuradas, tanto en concreto reforzado, como en mampostería, las derivas pueden multiplicarse por **0.7** antes de hacer la comparación con los límites dados en la tabla A.6-1.

**A.6.4.2.2** – Se permite emplear el límite de deriva máxima permisible de  $0.010 h_{pi}$  en edificaciones construidas con mampostería estructural cuando éstas estén compuestas por muros cuyo modo prevaleciente de falla sea la flexión ante fuerzas paralelas al plano del muro, diseñados esencialmente como elementos verticales esbeltos que actúan como voladizos apoyados en su base o cimentación, y que se construyen de tal manera que la transferencia de momento entre muros a través de los elementos horizontales de acople en los diafragmas de entrepiso, ya sean losas, vigas de enlace, antepechos o dinteles, sea despreciable.

**A.6.4.2.3** – Cuando se trate de muros de mampostería poco esbeltos o cuyo modo prevaleciente de falla sea causado por esfuerzos cortantes, debe emplearse el límite de deriva máxima permisible de  $0.005 h_{pi}$ .

## **A.6.5 - SEPARACION ENTRE ESTRUCTURAS ADYACENTES**

**A.6.5.1 - DENTRO DE LA MISMA CONSTRUCCION** - Todas las partes de la estructura deben diseñarse y construirse para que actúen como una unidad integral para efectos de resistir las fuerzas sísmicas, a menos que se separen una distancia suficiente para evitar la colisión nociva entre las partes. Para determinar la distancia mínima de separación debe sumarse el valor absoluto de los desplazamientos horizontales totales obtenidos en A.6.2.1 para cada una de las porciones de la edificación en la dirección perpendicular a la junta que las separe, a menos que se tomen medidas para que no se presente daño a la estructura al utilizar una distancia menor.

**A.6.5.2 - ENTRE EDIFICACIONES VECINAS** - Es responsabilidad de la reglamentación urbana de la ciudad el fijar la separación entre estructuras colindantes que no formen parte de la misma unidad constructiva. En ausencia de una reglamentación de la ciudad al respecto, pueden utilizarse las siguientes guías:

- (a) Cuando ya exista una edificación vecina en la cual se dejó una separación con respecto al lindero, la nueva construcción adyacente debe separarse en cada piso de la existente una distancia igual al desplazamiento total del piso obtenido como se indica en A.6.2.1.
- (b) Cuando ya exista una edificación vecina que no dejó una separación con respecto al lindero y no se conocen sus desplazamientos máximos, la nueva construcción adyacente debe separarse de la existente en cada piso una distancia igual al desplazamiento total del piso obtenido como se indica en A.6.2.1, más una distancia igual al uno por ciento (1%) de la altura del piso medida desde el nivel del terreno.
- (c) Cuando no se haya construido aún el terreno vecino, y la reglamentación permita construcción sin ningún aislamiento, en aquellos pisos en los cuales no se requiere aislamiento, la edificación debe separarse del lindero una distancia igual al desplazamiento total del piso obtenido como se indica en A.6.2.1.



## CAPITULO A.7

### INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

#### A.7.1 - GENERAL

**A.7.1.1 - DEFINICION** - La respuesta sísmica de la estructura está íntimamente ligada a la forma como los movimientos sísmicos del terreno afectan la estructura a través de su cimentación. Las características dinámicas del suelo subyacente, la rigidez y disposición de la cimentación y el tipo de sistema estructural de la edificación interactúan entre sí para caracterizar los efectos sísmicos sobre ella. El hecho de que no se tome en cuenta la rigidez de la cimentación y las características dinámicas del suelo subyacente en el análisis sísmico de la edificación puede conducir a variaciones apreciables entre la respuesta sísmica estimada y la respuesta real de la estructura. Por las razones anotadas es conveniente incluir los efectos de la interacción suelo-estructura en el análisis sísmico de la edificación.

**A.7.1.2 - EFECTOS ASOCIADOS CON LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA** - Dependiendo de las características de la estructura, de su cimentación y del suelo subyacente, la respuesta de la estructura ante sollicitaciones estáticas verticales y dinámicas (sismo) puede variar con respecto al estimativo que se realiza sin tener en cuenta la interacción suelo-estructura, en los siguientes aspectos:

- (a) la presencia de suelos blandos y compresibles en las distribución de esfuerzos y deformaciones bajo losas de fundación, tanto ante sollicitaciones de cargas verticales como de fuerzas horizontales,
- (b) variaciones en los períodos de vibración de la edificación,
- (c) aumento del amortiguamiento viscoso equivalente del sistema estructura-cimentación-suelo,
- (d) aumento de las derivas de la estructura ante sollicitaciones sísmicas,
- (e) variación en la distribución de las fuerzas cortantes horizontales producidas por los movimientos sísmicos, entre los diferentes elementos del sistema de resistencia sísmica, especialmente cuando se combinan elementos con rigideces y sistemas de apoyo en la cimentación diferentes, como puede ser el caso de combinación de pórticos y muros estructurales,
- (f) y otros.

**A.7.1.2.1** - Los efectos de interacción suelo-estructura no deben confundirse con los efectos de sitio, causados por la amplificación de la onda sísmica al viajar desde la roca hasta la superficie, los cuales se describen en el Capítulo A.2.

**A.7.1.3 - PROCEDIMIENTO RECOMENDADO** - El presente Capítulo define los criterios generales que deben ser tenidos en cuenta, tanto por el ingeniero estructural como por el ingeniero geotecnista, cuando se deban utilizar procedimientos de interacción suelo-estructura, de acuerdo con los requisitos de A.3.4.2. Si a juicio del ingeniero estructural y el ingeniero geotecnista se dispone de la información necesaria, obtenida con el mayor rigor posible, acerca de los parámetros geotécnicos y estructurales involucrados, se pueden utilizar los requisitos presentados en el Apéndice A-2 del presente Título del Reglamento.

#### A.7.2 - INFORMACION GEOTECNICA

A continuación se describe el alcance mínimo de la exploración, interpretación y recomendaciones que debe contener el estudio geotécnico:

**A.7.2.1 - EXPLORACION** - Los procedimientos de exploración deben ser consistentes con el tipo de propiedades que deban estudiarse, ya sea por procedimientos de campo o de laboratorio. Debe tenerse especial cuidado respecto a los niveles de deformación a que se expresen las propiedades del suelo, los cuales deben ser compatibles con los niveles de deformación que le imponen los movimientos sísmicos.

**A.7.2.2 - LABORATORIO** - Los procedimientos de laboratorio deben cuantificar, directa o indirectamente, las características del material bajo condiciones dinámicas y a los niveles de deformación esperados durante los movimientos sísmicos.

**A.7.2.3 - INTERPRETACION** - La información de campo y de laboratorio debe combinarse en un conjunto de recomendaciones que describan y sustenten las características que debe emplear el ingeniero estructural en los modelos matemáticos del fenómeno. Las recomendaciones deben fijar limitaciones y rangos de aplicabilidad, fáciles de identificar, con el fin de evitar el peligro que entraña la utilización de los parámetros recomendados, fuera del contexto bajo el cual se expresaron.

**A.7.2.4 - REVISION Y EVALUACION DE LOS RESULTADOS** - El ingeniero geotecnista debe revisar y avalar los resultados obtenidos por el ingeniero estructural, en lo concerniente a las recomendaciones para interacción suelo-estructura del estudio geotécnico y a la validez de los resultados de interacción suelo-estructura obtenidos con base en sus propias recomendaciones.

### **A.7.3 - ANALISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL**

A continuación se describe el alcance mínimo de los aspectos que debe tener en cuenta el ingeniero estructural para describir los efectos de interacción suelo-estructura:

**A.7.3.1 - TIPO DE MODELO** - Los modelos matemáticos pueden ser estáticos o dinámicos y deben describir las características de rigidez de la estructura, la cimentación y el suelo, a niveles compatibles con las deformaciones esperadas. En los modelos estructurales utilizados en el análisis de la estructura deben introducirse condiciones de apoyo elástico de los muros, columnas y elementos del sistema de resistencia sísmica al nivel de la cimentación, consistentes con las rigideces supuestas para obtener la respuesta de la estructura teniendo en cuenta los efectos de interacción suelo-estructura.

**A.7.3.2 - FUERZAS DE DISEÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES** - El modelo matemático empleado debe utilizarse en la evaluación de las características propias de la respuesta de la estructura ante las diferentes solicitaciones. La distribución de las fuerzas internas de la estructura que se utilice en el diseño de la misma debe ser la que se obtiene a través del análisis que incluye los efectos de interacción suelo-estructura.

**A.7.3.3 - DERIVAS** - Las derivas obtenidas al utilizar los procedimientos de interacción suelo-estructura deben cumplir con los límites establecidos en el Capítulo A.6. En la gran mayoría de los casos deben esperarse derivas mayores que las que se obtendrían al suponer la estructura empotrada en su base.

**A.7.3.4 - CORTANTE SISMICO EN LA BASE** - En aquellos casos en los cuales se presente un aumento en el cortante sísmico en la base, el diseño debe realizarse para el cortante obtenido utilizando la interacción suelo-estructura. Cuando debido a un aumento en el amortiguamiento efectivo se presente una disminución del cortante sísmico de diseño en la base, el valor del cortante sísmico de diseño en la base no puede ser menor que el que se obtendría utilizando el método de la fuerza horizontal equivalente del Capítulo A.4, empleando un período de vibración igual a  $1.2T_a$ .

**A.7.3.5 - VALORES MAXIMOS Y MINIMOS DE LOS EFECTOS DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA** - Debido a la incertidumbre que presenta la determinación de los parámetros del suelo utilizados en el análisis de interacción suelo-estructura, deben considerarse los valores máximos y mínimos esperados de tales parámetros y utilizarse aquellos que produzcan los efectos más desfavorables, tanto en la determinación de los cortantes sísmicos, como para el cálculo de las derivas de piso y las fuerzas de diseño de los elementos de la estructura y la cimentación.



## CAPITULO A.8

# EFFECTOS SISMICOS SOBRE ELEMENTOS ESTRUCTURALES QUE NO HACEN PARTE DEL SISTEMA DE RESISTENCIA SISMICA

### A.8.0 - NOMENCLATURA

$A_a$	=	coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.
$a_x$	=	aceleración horizontal, expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, localizado en el piso $x$
$C_{vx}$	=	coeficiente definido en A.4.3.
$F_p$	=	fuerza horizontal sobre un elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, aplicada en su centro de masa.
$g$	=	aceleración debida a la gravedad ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).
$I$	=	coeficiente de importancia dado en A.2.5.2.
$M$	=	masa total de la edificación - $M$ se expresa en kg. Debe ser igual a la masa total de la estructura más la masa de aquellos elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos o bodegas debe incluirse además un 25 por ciento de la masa correspondiente a los elementos que causan la carga viva del piso. Capítulos A.4 y A.5.
$M_p$	=	masa de un elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica.
$m_x$	=	parte de $M$ que está colocada en el nivel $x$ .
$R_0$	=	coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural. Véase el Capítulo A.3.
$V_s$	=	cortante sísmico en la base, para las fuerzas sísmicas. Véase A.4.3.

### A.8.1 - GENERAL

**A.8.1.1 - ALCANCE** - El presente Capítulo cubre las previsiones sísmicas que deben tenerse en el diseño de los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica, tal como se define en el Capítulo A.3, y de sus anclajes a él. Dentro de estos elementos se incluyen, pero no están limitados a:

- (a) escaleras, rampas, etc.,
- (b) tanques, piscinas, etc.,
- (c) elementos de cubiertas, tales como cerchas, correas, etc.,
- (d) elementos secundarios de los sistemas de entrepiso, tales como viguetas, etc.,
- (e) columnas, columnetas, machones, y otros elementos que dan soporte a cubiertas y otras partes menores de la edificación,
- (f) apoyos de equipos tales como ascensores, escaleras mecánicas, etc., y
- (g) en general todos aquellos elementos estructurales que se incluyen dentro de los planos estructurales y que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica.

**A.8.1.2 - RESPONSABILIDAD DEL DISEÑO** - El diseño, ante las solicitaciones establecidas por el presente Reglamento en el Título A o en el Título B, de todo elemento estructural que figure dentro de los planos estructurales, es responsabilidad del diseñador estructural. Dentro de estos elementos se incluyen los elementos mencionados en A.8.1.1.

**A.8.1.3 - CRITERIO DE DISEÑO** - El diseño ante efectos sísmicos, de los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica de los elementos estructurales en sí y de los anclajes, uniones o amarres, de estos elementos al sistema de resistencia sísmica, debe realizarse para la situación que controle de:

- (a) el efecto de las fuerzas sobre el elemento en sí,
- (b) la capacidad de resistir las deformaciones, que le impone al elemento, el sistema de resistencia sísmica al responder a los movimientos sísmicos de diseño, y

la influencia que pueda tener el elemento en la respuesta sísmica de la estructura, como puede ser el caso de las escaleras y rampas, las cuales pueden actuar como arriostamientos (o diagonales) de un piso con otro.

## **A.8.2 - FUERZAS HORIZONTALES DE DISEÑO**

**A.8.2.1 - ACELERACION HORIZONTAL SOBRE EL ELEMENTO** - El elemento se ve sometido, ante la ocurrencia de los movimientos sísmicos de diseño, a las mismas aceleraciones horizontales que se ve sometido el sistema de resistencia sísmica en la misma altura sobre la base de la edificación en que se encuentre el elemento.

Las fuerzas inerciales a que se ve sometido el elemento o cualquier porción de él, corresponden a la masa del elemento multiplicada por la aceleración que le imponen los movimientos causados por el sismo. Esta aceleración se determina por medio de uno de los procedimientos siguientes:

**A.8.2.1.1 - Método de la fuerza horizontal equivalente** - Cuando se utilice el método de la fuerza horizontal equivalente, tal como lo prescribe el Capítulo A.4, la aceleración horizontal,  $a_x$ , expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, localizado en el piso  $x$ , se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$a_x = \frac{C_{vx} V_s}{m_x g} \approx \frac{A_a I}{2} \quad (\text{A.8-1})$$

donde  $C_{vx}$  se obtiene por medio de la ecuación A.4-7,  $V_s$  por medio de la ecuación A.4-5, y  $m_x$  es la fracción de  $M$  que está localizada en el piso  $x$ .

**A.8.2.1.2 - Método del análisis dinámico** - Cuando se utilice el método del análisis dinámico, la aceleración horizontal,  $a_x$ , expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, localizado en el piso  $x$ , es igual a la aceleración a que se ve sometido el piso. El valor de la aceleración obtenida por medio del método del análisis dinámico no puede ser menor que el que se obtiene por medio de la Ecuación A.8-1.

**A.8.2.2 - FUERZAS HORIZONTALES SOBRE EL ELEMENTO** - La fuerza sísmica horizontal reducida de diseño, que puede actuar en cualquier dirección, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica en su centro de masa, se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{a_x g}{R_0} M_p \quad (\text{A.8-2})$$

donde  $R_0$  es el coeficiente de capacidad de disipación de energía correspondiente a los requisitos de diseño del elemento estructural, como se indica en A.8.4. La anterior ecuación puede aplicarse a elementos que tienen un solo apoyo, o no hay desplazamientos relativos entre sus apoyos.

**A.8.2.2.1** - Cuando el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, tiene características dinámicas que amplifiquen su respuesta ante la aceleración  $a_x$ , estas características deben tenerse en cuenta en la evaluación de las fuerzas horizontales que lo puedan afectar. Esto ocurre especialmente en apéndices de la edificación.

**A.8.2.2.2** - Cuando el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, tienen apoyos que pueden desplazarse relativamente durante el sismo, como es el caso de elementos que están conectados a dos pisos diferentes de la edificación; deben tenerse en cuenta en el diseño, además de las fuerzas calculadas por medio de la ecuación A.8-2, las fuerzas que inducen los desplazamientos relativos entre sus apoyos.

**A.8.2.3 - FUERZAS SOBRE LAS UNIONES AL SISTEMA DE RESISTENCIA SISMICA** - Además de los requisitos de A.3.6.4, las uniones, empalmes y amarres, de los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica a este, deben ser capaces de resistir la totalidad de las fuerzas sísmicas reducidas de diseño sobre el elemento tal como las define A.8.2.2.

### **A.8.3 - DEFORMACIONES DE DISEÑO**

**A.8.3.1** - Los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica deben ser capaces de resistir, sin deterioro, las deformaciones que les impone la respuesta sísmica de la estructura. Como mínimo deben ser capaces de resistir las deformaciones que se obtienen de las derivadas máximas de diseño determinadas como se indica en el Capítulo A.6.

### **A.8.4 - REQUISITOS DE DISEÑO**

**A.8.4.1** - Los requisitos que deben seguirse en el diseño de los elementos estructurales que no hacen parte del sistema de resistencia sísmica para cada uno de los materiales cubiertos por el Reglamento, deben ser los que se indiquen en cada uno de los Títulos correspondientes dentro del Reglamento, y en su defecto, los del nivel de capacidad de disipación de energía menor de los dados para cada material.







## CAPITULO A.9 ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

### A.9.0 - NOMENCLATURA

$A_a$	=	coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.
$a_p$	=	coeficiente de amplificación dinámica del elemento no estructural. Se da en las tablas A.9-2 y A.9-3.
$a_x$	=	aceleración horizontal, expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento no estructural, localizado en el piso $x$
$C_{vx}$	=	coeficiente definido en A.4.3.
$E$	=	fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E = F_p / R_p$ )
$F_p$	=	fuerza sísmica horizontal sobre el elemento no estructural, aplicada en su centro de masa.
$g$	=	aceleración debida a la gravedad ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).
$I$	=	coeficiente de importancia dado en A.2.5.2.
$M$	=	masa total de la edificación - $M$ se expresa en kg. Debe ser igual a la masa total de la estructura más la masa de aquellos elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos o bodegas debe incluirse además un 25 por ciento de la masa correspondiente a los elementos que causan la carga viva del piso. Capítulos A.4 y A.5.
$M_p$	=	masa del elemento no estructural.
$m_x$	=	parte de $M$ que está colocada en el nivel $x$ .
$R_p$	=	coeficiente de capacidad de disipación de energía del elemento no estructural y sus sistema de soporte. Se da en las tablas A.9-2 y A.9-3.
$V_s$	=	cortante sísmico en la base, para las fuerzas sísmicas. Véase A.4.3.

### A.9.1 - GENERAL

**A.9.1.1 - PROPOSITO** - Los requisitos del presente Capítulo tienen como objetivo establecer los criterios de diseño de elementos que no hacen parte de la estructura de la construcción, con el fin de que se cumpla el propósito del Reglamento.

**A.9.1.2 - ALCANCE** - El presente Capítulo cubre las provisiones sísmicas que deben tenerse en el diseño de los elementos no estructurales y de sus anclajes a la estructura, con la excepción de lo indicado en A.9.1.3. Dentro de los elementos no estructurales que deben ser diseñados sísmicamente se incluyen:

- (a) acabados y elementos arquitectónicos y decorativos,
- (b) instalaciones hidráulicas y sanitarias,
- (c) instalaciones eléctricas,
- (d) instalaciones de gas,
- (e) equipos mecánicos, e
- (f) instalaciones especiales.

**A.9.1.3 - EXCENCIONES** - Están exentas de los requisitos del presente Capítulo todas las edificaciones pertenecientes a los grupos de uso **I** y **II** localizadas en zonas de amenaza sísmica baja.

### A.9.2 - GRADO DE DESEMPEÑO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

**A.9.2.1 - DEFINICION DEL DESEMPEÑO** - Se denomina desempeño el comportamiento de los elementos no estructurales de la edificación ante la ocurrencia del sismo de diseño que la afecte. El desempeño se clasifica en los siguientes grados:

- (a) **Superior** - Es aquel en el cual el daño que se presenta en los elementos no estructurales es mínimo y no interfiere con la operación de la edificación debido a la ocurrencia del sismo de diseño.
- (b) **Bueno** - Es aquel en el cual el daño que se presenta en los elementos no estructurales es totalmente

reparable y puede haber alguna interferencia con la operación de la edificación con posterioridad a la ocurrencia del sismo de diseño.

(c) **Bajo** - Es aquel en el cual se presentan daños graves en los elementos no estructurales, inclusive no reparables, pero sin desprendimiento o colapso, debido a la ocurrencia del sismo de diseño.

**A.9.2.2 - CLASIFICACION EN UNO DE LOS GRADOS DE DESEMPEÑO** - La edificación debe clasificarse dentro de uno de los tres grados de desempeño de los elementos no estructurales definidos en A.9.2.1. Este grado de desempeño no puede ser inferior al mínimo permisible fijado en A.9.2.3. El propietario de la edificación, de manera voluntaria, puede exigir que los diseños se realicen para un grado de desempeño mejor que el mínimo exigido, comunicándolo por escrito a los diseñadores. En ausencia de esta comunicación, los diseñadores solo están obligados a cumplir con el grado mínimo permisible fijado en A.9.2.3.

**A.9.2.3 - GRADO DE DESEMPEÑO MINIMO** - Como mínimo debe cumplirse el grado de desempeño indicado en la tabla A.9-1, para cada uno de los grupos de uso definidos en A.2.5.1.

**Tabla A.9-1**  
**Grado de desempeño mínimo requerido**

Grupo de Uso	Grado de desempeño
IV	Superior
III	Bueno
II	Bueno
I	Bajo

### A.9.3 - RESPONSABILIDADES

**A.9.3.1 – DEL DISEÑADOR RESPONSABLE** - La responsabilidad del diseño sísmico de los elementos no estructurales recae en los profesionales bajo cuya dirección se elaboran los diferentes diseños particulares. Se presume que el hecho de que un elemento no estructural figure en un plano o memoria de diseño, es porque se han tomado todas las medidas necesarias para cumplir el grado de desempeño apropiado y por lo tanto el profesional que firma o rotula el plano se hace responsable de que el diseño se realizó para el grado de desempeño apropiado.

**A.9.3.1.1** - En aquellos casos en los cuales en los diseños se especifican elementos no estructurales cuyo suministro e instalación se realiza por parte de su fabricante, el diseñador se debe limitar a especificar en sus planos, memorias o especificaciones, el grado de desempeño que deben cumplir los elementos.

**A.9.3.2 – DEL SUPERVISOR TECNICO** – El supervisor técnico debe verificar que la construcción e instalación de los elementos no estructurales se realice siguiendo los planos y especificaciones correspondientes. En aquellos casos en los cuales en los documentos de diseño (planos, memorias y especificaciones) sólo se indica el grado de desempeño requerido, es responsabilidad del supervisor técnico el verificar que los elementos no estructurales que se instalen en la edificación, efectivamente estén en capacidad de cumplir el grado de desempeño especificado por el diseñador.

**A.9.3.3 - COORDINACION ENTRE DISEÑOS DE ELEMENTOS QUE HACEN PARTE DE DIFERENTES SISTEMAS** - La responsabilidad de la coordinación entre los diferentes diseños recae en el profesional que figura como diseñador arquitectónico en la solicitud de licencia de construcción. El profesional que realice la coordinación debe tomar todas las precauciones necesarias para que el diseño resultante de cada uno de los elementos no estructurales, realizado por profesionales diferentes a él, no afecte el desempeño de elementos diseñados por otros profesionales.

### A.9.4 - CRITERIO DE DISEÑO

**A.9.4.1 - GENERAL** - El diseñador de los elementos no estructurales puede adoptar una de dos estrategias en el diseño:

(a) **Separarlos de la estructura** - En este tipo de diseño los elementos no estructurales se aíslan lateralmente de la estructura dejando una separación suficiente para que la estructura al deformarse como consecuencia del sismo no los afecte adversamente. Los elementos no estructurales se apoyan en su parte inferior sobre la estructura, o se cuelgan de ella; por lo tanto deben ser capaces de resistir por sí

mismos las fuerzas inerciales que les impone el sismo, y sus anclajes a la estructura deben ser capaces de resistir y transferir a la estructura estas fuerzas inducidas por el sismo. Además la separación de la estructura de la edificación debe ser lo suficientemente amplia para garantizar que no entren en contacto, para los desplazamientos impuestos por el sismo de diseño.

- (b) **Disponer elementos que admitan las deformaciones de la estructura** - En este tipo de diseño se disponen elementos no estructurales que tocan la estructura y que por lo tanto deben ser lo suficientemente flexibles para poder resistir las deformaciones que la estructura les impone sin sufrir daño mayor que el que admite el grado de desempeño prefijado para los elementos no estructurales de la edificación. En este tipo de diseño debe haber una coordinación con el ingeniero estructural, con el fin de que éste tome en cuenta el potencial efecto nocivo sobre la estructura que pueda tener la interacción entre elementos estructurales y no estructurales.

**A.9.4.2 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO** - Las fuerzas sísmicas horizontales reducidas de diseño que actúan sobre cualquier elemento no estructural deben calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{a_x a_p}{R_p} g M_p \cong \frac{A_a I}{2} g M_p \quad (\text{A.9-1})$$

Los parámetros que intervienen en esta ecuación, diferentes a la masa del elemento,  $M_p$ , se definen de la siguiente manera:

**A.9.4.2.1 - Aceleración en el punto de soporte del elemento** -  $a_x$  - Corresponde a la aceleración horizontal que ocurre en el punto donde el elemento no estructural está soportado, o anclado, al sistema estructural de la edificación, cuando ésta se ve afectada por los movimientos sísmicos de diseño. Esta aceleración depende de las características dinámicas del sistema de resistencia sísmica de la edificación y de la localización del elemento dentro de ella. Debe evaluarse por medio de un análisis dinámico de la estructura que tenga en cuenta su capacidad de disipación de energía en el rango inelástico, o bien por medio de la siguiente ecuación compatible con las fuerzas sísmicas que se obtienen por medio del método de fuerza horizontal equivalente tal como se presenta en el Capítulo A.4 del Reglamento:

$$a_x = \frac{C_{vx} V_s}{m_x g} f 2 S_a \quad (\text{A.9-2})$$

pero  $a_x$  no puede ser menor que  $A_a I / 2$ . En la ecuación anterior,  $C_{vx}$  se obtiene por medio de la ecuación A.4-7,  $V_s$  por medio de la ecuación A.4-5,  $m_x$  es la fracción de la masa total de la edificación,  $M$ , que está localizada en el piso  $x$ , y el valor de  $S_a$  se define para el período fundamental de la edificación, calculado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.4. El valor de  $S_a$  se debe calcular para las dos direcciones principales en planta de la estructura, y se debe emplear el valor que conduzca al mayor valor de  $S_a$ .

**A.9.4.2.2 – Amplificación dinámica del elemento no estructural** -  $a_p$  – Dependiendo de la rigidez, distribución de su masa y características de apoyo sobre la estructura, el elemento no estructural amplifica las aceleraciones que se presentan en su punto de soporte debido a efectos de resonancia. Estos efectos de resonancia dependen de la relación que exista entre el período fundamental de la estructura y el del elemento no estructural, incluyendo la acción de sus soportes. Cuando el elemento no estructural es rígido, su masa se encuentra localizada cerca del punto de apoyo y está firmemente anclado a la estructura, su amplificación dinámica es menor, esto se presenta en elementos no estructurales con períodos de vibración del orden de 0.06 s o menos. Cuando el elemento no estructural es flexible, o su masa se encuentra distribuida en la altura, o concentrada lejos del punto de soporte, o sus apoyos permiten desplazamientos apreciables, las aceleraciones a que se ve sometido se amplifican apreciablemente con respecto a las aceleraciones que se presentan en su punto de soporte. Esta amplificación,  $a_p$ , debe determinarse por medio de análisis dinámicos detallados o ensayos dinámicos experimentales. En ausencia de éstos, pueden emplearse los valores aproximados dados en las tablas A.9-1 y A.9-2, donde los valores de  $a_p$  varían entre 1.0 y 2.5.

**A.9.4.2.3 – Capacidad de disipación de energía en el rango inelástico del elemento no estructural** -  $R_p$  – Este coeficiente representa, en conjunto, la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico de respuesta del elemento en sí y de su sistema de anclaje o amarre a la estructura de la edificación. Un valor de  $R_p$  bajo, cercano a la unidad, indica fragilidad, poca capacidad de disipación de energía, y anclajes o amarres a la estructura con poca capacidad de deformarse inelásticamente. En la medida que se atienden estos grados

potenciales de comportamiento deficiente es posible incrementar los valores de  $R_p$ . En las tablas A.9-2 y A.9-3, se dan los valores de  $R_p$ , mínimos permitidos para cada grado de desempeño, los cuales varían entre 0.5 y 6.0.

**A.9.4.3 - CAPACIDAD DE DEFORMACION** – Los elementos no estructurales al verse sometidos a los movimientos sísmicos de diseño sufren desplazamientos con respecto a la estructura de la edificación que no deben exceder las holguras de separación que se dejen, o deformaciones del mismo elemento que pongan en peligro su integridad. Los desplazamientos de verificación de los elementos no estructurales y sus anclajes o amarres se fijan en función de las derivadas máximas aceptables para la estructura que se prescriben en el Capítulo A.6 del Reglamento. Por lo tanto, debe tenerse en cuenta en el diseño que el elemento debe ser capaz de resistir, sin sufrir un nivel de daño mayor que el admisible para su grado de desempeño, las deformaciones que le impone la respuesta sísmica de la estructura.

**A.9.4.4 - APLICACIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS** - Las fuerzas sísmicas sobre cualquier elemento no estructural actúan de acuerdo con la distribución de la masa y la rigidez del elemento. Se permite suponer que se aplican en el centro de gravedad del elemento, teniendo en cuenta que éstas pueden obrar en cualquier dirección horizontal. Para efectos del diseño de los elementos mecánicos y eléctricos, debe tenerse en cuenta en el diseño una fuerza vertical que actúa hacia arriba o hacia abajo, adicional a su peso, igual a un tercio de él.

**A.9.4.5 - TRANSFERENCIA DE LAS FUERZAS SÍSMICAS** - Los elementos no estructurales que requieran ser diseñados para resistir fuerzas sísmicas, deben amarrarse o anclarse de tal manera que éstas fuerzas sean finalmente transferidas a la estructura de la edificación. El amarre debe ser una conexión o anclaje que permita resistir tensiones y compresiones, sin contar con efectos de fricción, ni de resistencia a la tensión de morteros de pega..

**A.9.4.6 – OTRAS SOLICITACIONES** – El diseñador de los elementos no estructurales debe tener en cuenta en sus diseños las demás solicitaciones que puedan afectar el comportamiento de los elementos no estructurales, de las mencionadas en el Título B del Reglamento.

**A.9.4.7 - DISEÑO UTILIZANDO EL METODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO** - Cuando el material del elemento no estructural se diseña utilizando el método de esfuerzos de trabajo, tal como lo define B.2.3, las fuerzas sísmicas reducidas de diseño,  $E$ , que se determinan de acuerdo con los requisitos del presente Capítulo, debe multiplicarse por un coeficiente de carga de **0.7**, tal como lo indican las combinaciones de carga de B.2.3 para obtener las fuerzas sísmicas reducidas de diseño, al nivel de esfuerzos de trabajo, que se utilizan en el diseño de los elementos y sus anclajes.

**A.9.4.8 – ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES LOCALIZADOS EN LA BASE DE LA ESTRUCTURA Y POR DEBAJO DE ELLA, O FUERA DE ELLA** – Los elementos no estructurales, localizados a la altura, o por debajo, de la base de la estructura, o por fuera de ella, deben diseñarse para unas fuerzas sísmicas reducidas de diseño determinadas de acuerdo con la ecuación A.9-1, para una aceleración  $a_x$  igual a  $A_a I$ .

**A.9.4.9 – TIPOS DE ANCLAJE SEGUN EL VALOR DE  $R_p$  PERMITIDO PARA EL ELEMENTO NO ESTRUCTURAL** – Los sistemas de anclaje de los elementos no estructurales deben tener capacidad de disipación de energía en el rango inelástico y ductilidad compatible con el nivel mínimo de  $R_p$  requerido para el elemento no estructural. A continuación se indican algunos de los tipos de anclaje empleados en el medio y su grado de aceptabilidad para los diferentes valores de  $R_p$ :

**A.9.4.9.1 - Especiales ( $R_p = 6$ )** – Se trata de anclajes diseñados siguiendo los requisitos del Título F para estructuras acero estructural para capacidad de disipación especial (DES). Deben cumplirse todos los requisitos dados allí para permitir este valor de  $R_p$ .

**A.9.4.9.2 - Dúctiles ( $R_p = 3$ )** – Cuando el anclaje se realiza por medio de anclajes profundos que emplean químicos (epóxicos), anclajes profundos vaciados en el sitio, o anclajes vaciados en el sitio que cumplen los requisitos del Capítulo C.21. No se permiten los pernos de expansión ni anclajes colocados por medios explosivos (tiros). Anclajes profundos son aquellos en los cuales la relación entre la porción embebida al diámetro del perno es mayor de 8. Este tipo de anclajes debe emplearse cuando el elemento no estructural es dúctil.

**A.9.4.9.3 – No dúctiles ( $R_p = 1.5$ )** – Cuando el anclaje se realiza por medio de pernos de expansión, anclajes superficiales que emplean químicos (epóxicos), anclajes superficiales vaciados en el sitio, o anclajes colocados por medio explosivos (tiros). Anclajes superficiales son aquellos en los cuales la relación entre la porción embebida al diámetro del perno es menor de 8. Dentro de este tipo de anclajes se encuentran las barras de acero de refuerzo con ganchos en los extremos que se embeben dentro del mortero de pega de la

mampostería. Este tipo de anclajes se permiten cuando el elemento no estructural no es dúctil. Si se utilizan en elementos no estructurales dúctiles, éstos deben diseñarse para el mismo valor de  $R_p = 1.5$ .

**A.9.4.9.4 - Húmedos ( $R_p = 0.5$ )** – Cuando se utiliza mortero, o adhesivos que pegan directamente al mortero o al concreto, sin ningún tipo de anclaje mecánico resistente a tracción.

**A.9.4.10 – ELEMENTOS DE CONEXION PARA COMPONENTES NO ESTRUCTURALES** – El elemento de conexión es el aditamento que conecta el elemento no estructural con los anclajes a la estructura. En algunos casos es el mismo elemento de anclaje. Las conexiones que permiten movimiento deben disponerse de tal manera que pueda haber movimiento relativo entre la estructura y el elemento no estructural, por medio de agujeros alargados, agujeros de un tamaño mayor que los espigos o tornillos, por medio de elemento de acero que se flexionan, u otros procedimientos, pero debe ser capaz de resistir las fuerzas sísmicas reducidas de diseño prescritas en las direcciones en las cuales no se permite el movimiento. En fachadas el elemento de conexión en sí, debe diseñarse para resistir una fuerza sísmica reducida de diseño igual a  $1.33 F_p$  y todos los pernos, tornillos, soldaduras, y espigos que pertenezcan al sistema de conexión, deben diseñarse para  $3.0 F_p$ .

## A.9.5 - ACABADOS Y ELEMENTOS ARQUITECTONICOS

**A.9.5.1 - GENERAL** - Los acabados y elementos arquitectónicos enumerados en la tabla A.9-2 y sus anclajes a la estructura deben diseñarse y detallarse de acuerdo con los requisitos de esta sección. Los cálculos y diseños de los elementos arquitectónicos y acabados deben incluirse como parte de las memorias de diseño de acabados.

**A.9.5.2 - ELEMENTOS QUE REQUIEREN ESPECIAL CUIDADO EN SU DISEÑO** - El comportamiento sísmico de algunos elementos no estructurales representan un peligro especialmente grave para la vida y en otros casos pueden llevar a la falla de elementos estructurales críticos, como pueden ser las columnas. Dentro de estos elementos se encuentran, entre otros, los siguientes:

- (a) **Muros de fachada** - las fachadas deben diseñarse y construirse para que sus componentes no se disgreguen como consecuencia del sismo, y además el conjunto amarrase adecuadamente a la estructura con el fin de que no exista posibilidad de que caigan poniendo en peligro a los transeúntes al nivel de calzada.
- (b) **Muros interiores** - deben tenerse precauciones para evitar el vuelco de los muros interiores y particiones.
- (c) **Cielos rasos** - el desprendimiento y caída de los cielos rasos representa un peligro grave para las personas.
- (d) **Enchapes de fachada** - el desprendimiento y caída de los enchapes de fachada representa un peligro grave para los transeúntes.
- (e) **Aticos, parapetos y antepechos** - existe el mismo peligro potencial que presentan los muros de fachada. Cuando la cubierta de la edificación esté compuesta por tejas o elementos frágiles debe considerarse en el diseño la posibilidad de que el parapeto falle hacia adentro, cayendo sobre la cubierta, produciendo su falla y poniendo en peligro a los habitantes del último piso.
- (f) **Vidrios** - la rotura de vidrios generada por la deformación del marco de la ventana representa un peligro para las personas que estén dentro o fuera de la edificación. Deben tenerse precauciones para dejar holguras suficientes dentro del montaje del vidrio o de la ventanería para evitar su rotura. La colocación de películas protectoras, vidrios templados y vidrios triplados son otras alternativas para evitar el peligro asociado con la rotura del vidrio.
- (g) **Paneles prefabricados de fachada** - cuando se utilicen paneles prefabricados de fachada, deben dejarse holguras suficientes que permitan la deformación de la estructura sin afectar el panel. Además el panel debe estar adecuadamente adherido al sistema estructural de resistencia sísmica, para evitar su desprendimiento
- (h) **Columnas cortas o columnas cautivas** - ciertos tipos de interacción entre los elementos no estructurales y la estructura de la edificación deben evitarse a toda costa. Dentro de este tipo de interacción se encuentra el caso de las "columnas cortas" o "columnas cautivas" en las cuales la columna está restringida en su desplazamiento lateral por un muro no estructural que no llega hasta la losa de entrepiso en su parte superior. En este caso el muro debe separarse de la columna, o ser llevado hasta la losa de entrepiso en su parte superior, si se deja adherido a la columna.

**A.9.5.3 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO** - Los elementos arquitectónicos y acabados y sus anclajes a la estructura deben diseñarse para resistir las fuerzas sísmicas reducidas de diseño determinadas por medio de la ecuación A.9-1, empleando los coeficientes dados en la tabla A.9-2.

TABLA A.9-2

Coeficiente de amplificación dinámica,  $a_p$ , y tipo de anclajes o amarres requeridos, usado para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R_p$ , para elementos arquitectónicos y acabados

Elemento no estructural	$a_p$	Tipo de anclajes o amarres para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, $R_p$ , mínimo requerido en A.9.4.9		
		Grado de desempeño		
		Superior	Bueno	Bajo
Fachadas				
• paneles prefabricados apoyados arriba y abajo	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• en vidrio apoyadas arriba y abajo	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• lámina en yeso, con costillas de acero	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• mampostería reforzada, separada lateralmente de la estructura ,apoyadas solo abajo	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura, apoyadas arriba y abajo	1.0	No se permite este tipo de elemento no estructural		No dúctiles <sup>(1)</sup>
• mampostería no reforzada, separada lateralmente de la estructura ,apoyadas solo abajo	2.5	No se permite este tipo de elemento no estructural		No dúctiles <sup>(1)</sup>
• mampostería no reforzada, confinada por la estructura	1.0	No se permite este tipo de elemento no estructural		No dúctiles <sup>(2)</sup>
Muros que encierran puntos fijos y ductos de escaleras, ascensores, y otros	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos <sup>(1)</sup>
Muros divisorios y particiones				
• corredores en áreas públicas	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos <sup>(1)</sup>
• muros divisorios de altura total	1.0	No dúctiles	No dúctiles	Húmedos <sup>(1)</sup>
• muros divisorios de altura parcial	2.5	No dúctiles	No dúctiles	Húmedos <sup>(1)</sup>
Elementos en voladizo vertical				
• áticos, parapetos y chimeneas	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
Anclaje de enchapes de fachada	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos
Atillos	1.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
Cielos rasos	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No requerido <sup>(3)</sup>
Anaqueles, estanterías y bibliotecas de más de 2.50 m de altura, incluyendo el contenido				
• Diseñadas de acuerdo al Título F	2.5	Especiales	Dúctiles	No requerido <sup>(3)</sup>
• Otras	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No requerido <sup>(3)</sup>
Tejas	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No requerido <sup>(3)</sup>

**Notas:**

1. Debe verificarse que el muro no pierde su integridad al ser sometido a las derivas máximas calculadas para la estructura.
2. Además de (1) debe verificarse que no interactúa adversamente con la estructura.
3. El elemento no estructural no requiere diseño y verificación sísmica.

**A.9.5.4 - FUERZAS DE VIENTO** - Cuando las fuerzas de viento, positivas o negativas, sobrepasen  $0.7F_p$  para muros no estructurales de fachada, estas fuerzas deben ser las empleadas en diseño del elemento no estructural, y sus anclajes deben diseñarse para resistir 1.4 veces las fuerzas de viento.

**A.9.5.5 - ANCLAJE DE LAS FACHADAS** - Los anclajes y amarres de los muros no estructurales de fachada, a la estructura de la edificación y a los muros interiores, deben ser capaces de resistir las fuerzas sísmicas reducidas de diseño obtenidas por medio de la ecuación A.9-1 y además deben tener la suficiente ductilidad y capacidad de rotación para aceptar desplazamientos, en cada piso, entre su base y la parte superior, iguales a la deriva de diseño, calculada de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.6. El muro debe ser capaz de resistir la flexión que le imponen las fuerzas sísmicas reducidas de diseño actuando en una dirección perpendicular al plano del muro.

**A.9.5.6 - CAPACIDAD DE DEFORMACION** - Los acabados y elementos arquitectónicos deben ser capaces de resistir, con el nivel de daño aceptable para el grado de desempeño correspondiente, las deformaciones dictadas por la deriva, calculada de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.6. En los elementos no estructurales y acabados colocados sobre elementos estructurales en voladizo debe tenerse en cuenta la deflexión vertical causada por la rotación en el apoyo del voladizo.

**A.9.5.7 - FUERZAS SISMICAS EN LA DIRECCION PERPENDICULAR AL PLANO DEL MURO NO ESTRUCTURAL**

- En el diseño de los muros no estructurales ante fuerzas sísmicas perpendiculares al plano del muro debe verificarse que las deflexiones del muro causadas por estas fuerzas no excedan la capacidad de deformación del muro.

**A.9.5.8 - CIELOS RASOS** - Deben tenerse en cuenta en el diseño de los sistemas de cielo raso la interacción de los elementos arquitectónicos, hidráulicos, mecánicos y eléctricos que se incorporen dentro de él.

**A.9.6 - INSTALACIONES HIDRAULICAS, SANITARIAS, MECANICAS Y ELECTRICAS**

**A.9.6.1 - GENERAL** - Los elementos no estructurales enumerados en la tabla A.9-3 y sus anclajes a la estructura deben diseñarse y detallarse de acuerdo con los requisitos de esta sección. Los cálculos y diseños de los elementos de instalaciones hidráulicas, sanitarias, mecánicas y eléctricas deben incluirse como parte de las memorias de diseño de cada uno de los sistemas. Puede hacerse un análisis del mecanismo de soporte de un componente, de acuerdo con principios establecidos de dinámica estructural, para justificar una reducción de las fuerzas determinadas en A.9.6.2. Deben investigarse los estados de esfuerzos combinados tales como tensión y cortante en los pernos de anclaje, de acuerdo con principios establecidos de mecánica estructural.

**A.9.6.2 - FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO** - Los componentes hidráulicos, mecánicos y eléctricos y sus anclajes deben diseñarse para fuerzas sísmicas reducidas de diseño determinadas por medio de la ecuación A.9-1, empleando los coeficientes dados en la tabla A.9-3.

**A.9.6.3 - SOPORTES** - Los sistemas de soporte deben diseñarse para las fuerzas sísmicas reducidas de diseño definidas en A.9.6.2 y de acuerdo con los requisitos correspondientes del material estructural del soporte, de acuerdo con lo establecido en el Título correspondiente al material estructural. Los soportes deben ser capaces de resistir los desplazamientos de la estructura inducidos por los movimientos sísmicos, calculados de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.6.

**A.9.6.4 - EMPATES CON LAS REDES DE SERVICIOS PUBLICOS** - Deben disponerse conexiones flexibles en los empates con las redes de servicios públicos en todos los casos en los cuales el empate está localizado en un lugar donde la estructura se puede desplazar con respecto al terreno como consecuencia de los movimientos sísmicos. El empate flexible debe ser capaz de resistir, sin daño, unos desplazamientos calculados como lo indica el Capítulo A.6.

**A.9.6.5 - INTERRUPTORES AUTOMATICOS** - En los empates con las redes de servicios públicos de electricidad y de gas, en edificaciones que pertenezcan al grupo de uso **IV**, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, debe colocarse, del lado de la edificación, un interruptor automático. El interruptor automático debe activarse cuando se presente una aceleración horizontal del terreno mayor que  $0.5 A_a$ .

**A.9.6.6 - ASCENSORES EN EDIFICACIONES DEL GRUPO DE USO IV** - En las edificaciones del grupo de uso **IV** localizadas en zonas de amenaza sísmica alta, el diseño, construcción y montaje de los ascensores debe realizarse cumpliendo los requisitos de la norma ANSI/ASME A.17.1 "American National Standard Safety Code for Elevators and Escalators", incluyendo el Apéndice F.

**TABLA A.9-3**

**Coefficiente de amplificación dinámica,  $a_p$ , y tipo de anclajes o amarres requeridos, usado para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R_p$ , para elementos hidráulicos, mecánicos o eléctricos<sup>a</sup>**

Elemento no estructural	$a_p$ <sup>b</sup>	Tipo de anclajes o amarres para determinar el coeficiente de capacidad de disipación de energía, $R_p$ , mínimo requerido en A.9.4.9		
		Grado de desempeño		
		Superior	Bueno	Bajo
Sistemas de protección contra el fuego	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
Plantas eléctricas de emergencia	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No requerido <sup>g</sup>
Maquinaria de ascensores, guías y rieles del ascensor y el contrapeso	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No requerido <sup>g</sup>
Equipo en general <ul style="list-style-type: none"> <li>• Calderas, hornos, incineradores, calentadores de agua y otros equipos que utilicen combustibles, y sus chimeneas y escapes.</li> <li>• Sistemas de comunicación</li> <li>• Ductos eléctricos, cárcamos y bandejas de cables<sup>c</sup></li> <li>• Equipo eléctrico, transformadores, subestaciones, motores, etc.</li> <li>• Bombas hidráulicas</li> <li>• Tanques, condensadores, intercambiadores de calor, equipos de presión</li> <li>• Empates con las redes de servicios públicos</li> </ul>	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No requerido <sup>g</sup>
Maquinaria de producción industrial	1.0	Dúctiles	No dúctiles	Húmedos
Sistemas de tuberías <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tuberías de gases y combustibles</li> <li>• Tuberías del sistema contra incendio</li> <li>• Otros sistemas de tuberías<sup>d</sup></li> </ul>	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
	2.5	Dúctiles	No dúctiles	No dúctiles
	2.5	No dúctiles	No requerido <sup>g</sup>	No requerido <sup>g</sup>
Sistemas de aire acondicionado, calefacción y ventilación, y sus ductos <sup>e</sup>	1.0	Dúctiles	No dúctiles	No requerido <sup>g</sup>
Paneles de control y gabinetes eléctricos		No dúctiles	No dúctiles	No requerido <sup>g</sup>
Luminarias y sistemas de iluminación <sup>f</sup>	1.0	No dúctiles	No dúctiles	No requerido <sup>g</sup>

**Notas:**

- a. Véase las exenciones en A.9.1.3.
- b. Los valores de  $a_p$  dados son para la componente horizontal. Para la componente vertical deben incrementarse en un 33%.
- c. No hay necesidad de disponer soportes sísmicos para las bandejas de cables eléctricos en las siguientes situaciones: (1) Ductos y bandejas de cables colgados de soportes individuales que tienen 300 mm o menos de longitud. (2) En espacios para equipos mecánicos y calderas, donde el ducto tiene menos de 30 mm de diámetro interior. (3) Cualquier ducto eléctrico de menos de 65 mm de diámetro interior, localizado en otros espacios.
- d. No hay necesidad de disponer soportes sísmicos para las tuberías en las siguientes situaciones: (1) Tuberías colgadas de soportes individuales que tienen 300 mm o menos de longitud. (2) En espacios para equipos mecánicos y calderas, donde la tubería tiene menos de 30 mm de diámetro interior. (3) Cualquier tubería de menos de 65 mm de diámetro interior, localizado en otros espacios.
- e. No hay necesidad de disponer soportes sísmicos para los ductos de calefacción, ventilación y aire acondicionado en las siguientes situaciones: (1) Ductos colgados de soportes individuales que tienen 300 mm o menos de longitud. (2) Ductos que tienen una sección con un área menor de 0.60 m<sup>2</sup>.
- f. Las luminarias dispuestas como péndulos deben diseñarse utilizando un valor de  $a_p$  igual a 1.5. El soporte vertical debe diseñarse con un factor de seguridad igual a 4.0.
- g. El elemento no estructural no requiere diseño y verificación sísmica.



## CAPITULO A.10

### EDIFICACIONES CONSTRUIDAS ANTES DE LA VIGENCIA DE LA PRESENTE VERSION DEL REGLAMENTO

#### A.10.0 - NOMENCLATURA

- E** = fuerzas sísmicas reducidas para revisión de la estructura existente y diseño de la ampliación ( $E = F_s / R'$ ).
- F<sub>s</sub>** = fuerzas sísmicas equivalentes, véase A.10.3.2.
- N<sub>ef</sub>** = resistencia efectiva.
- N<sub>ex</sub>** = resistencia existente.
- R** = coeficiente de capacidad de disipación de energía del sistema y material estructural, definido en el Capítulo A.3.
- R'** = coeficiente de capacidad de disipación de energía que se le asigna a la edificación existente de acuerdo con lo prescrito en el Capítulo A.10.
- f<sub>a</sub>** = coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en altura de la edificación. Véase A.3.3.3.
- f<sub>c</sub>** = coeficiente de reducción de resistencia por calidad del diseño y construcción de la estructura. Véase A.10.3.3.4.
- f<sub>e</sub>** = coeficiente de reducción de resistencia por estado de la estructura. Véase A.10.3.3.4.
- f<sub>p</sub>** = coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en planta de la edificación. Véase A.3.3.3.

#### A.10.1 - PROPOSITO Y ALCANCE

**A.10.1.1 - GENERAL** - El presente Capítulo establece los criterios que deben seguirse para poder adicionar, modificar o remodelar el sistema estructural de edificaciones diseñadas y construidas con anterioridad a la vigencia de la presente versión de las Normas Sismo Resistentes Colombianas.

**A.10.1.2 - PROPOSITO** - Una edificación que se remodele siguiendo los requisitos aquí presentados debe ser capaz de resistir temblores pequeños sin daño, temblores moderados sin daño estructural, pero con algún daño en elementos no estructurales, y un temblor fuerte sin colapso.

**A.10.1.3 - ALCANCE** - Los requisitos dados en este Capítulo pueden ser utilizados en el diseño y alteración de la estructura de edificaciones existentes antes de la vigencia de la presente versión de las Normas Sismo Resistentes Colombianas

**A.10.1.3.1 - Análisis de vulnerabilidad sísmica** - Los criterios presentados en este Capítulo pueden utilizarse en la verificación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento, dando el nivel de seguridad en comparación de lo que el Reglamento exigiría a una edificación nueva.

**A.10.1.3.2 - Reparaciones y cambios menores** - Se considera que el sistema estructural de la edificación no sufre modificación cuando se hacen reparaciones y cambios menores que no afecten el sistema de resistencia sísmica ni la integridad estructural de la edificación. En este caso no hay necesidad de llevar a cabo los estudios a que hace referencia el presente Capítulo, con la excepción anotada en A.10.1.3.3.

**A.10.1.3.3 - Cambio de uso** - Cuando se modifique el uso de una edificación, aun en los casos que menciona A.10.1.3.2, deben evaluarse las implicaciones causadas por este cambio de uso, ante cargas verticales, fuerzas horizontales y especialmente ante efectos sísmicos.

**A.10.1.3.4 - Edificaciones diseñadas y construidas utilizando la presente versión del Reglamento** - Cuando se trate de modificaciones de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia de la presente versión del Reglamento, estas alteraciones deben llevarse a cabo cumpliendo los requisitos del presente Reglamento.

**A.10.1.3.5 - Edificaciones declaradas como patrimonio histórico** - Cuando se trate de intervenciones estructurales de edificaciones declaradas como patrimonio histórico, donde existan restricciones severas para lograr un nivel de seguridad equivalente al que el Reglamento exigiría a una edificación nueva, se permitirá un nivel menor de seguridad sísmica siempre y cuando este menor nivel se justifique por parte del ingeniero diseñador y se acepte por parte del propietario, incluyendo dentro de los documentos que se presentan para solicitar la respectiva licencia de construcción, un memorial firmado en conjunto en el cual se incluyan las razones que motivan la reducción, el nivel de seguridad sísmica propuesto, y las medidas que se adoptarán para restringir el acceso al público en general o los procedimientos colaterales que se adoptarán para proveer seguridad apropiada a los ocupantes.

**A.10.1.3.6 - Reforzamiento y rehabilitación de edificaciones existentes** - Los requisitos del Capítulo A.10 y en especial los de A.10.7 deben ser empleados en las intervenciones de reforzamiento y rehabilitación sísmica de edificaciones.

**A.10.1.3.7 - Reparación de edificaciones con posterioridad a la ocurrencia de un sismo** - Los requisitos del Capítulo A.10 y en especial los de A.10.9 deben ser empleados en la reparación de edificaciones que hayan sufrido daños moderados a severos en su estructura, o daños moderados a severos en sus elementos no estructurales, o ambos, y que no hayan sido designadas como de obligatoria demolición total por la autoridad competente o por el censo que se realice para ese, efecto con posterioridad a la ocurrencia del sismo, según sea el caso.

**A.10.1.4 - PROCEDIMIENTO DE EVALUACION Y DISEÑO** - En la aplicación del presente Capítulo deben seguirse los siguientes pasos:

#### **INFORMACION PRELIMINAR**

**Paso 1** - Debe verificarse que la modificación esté cubierta por el alcance dado en A.10.1.3.

**Paso 2** - Debe recopilarse y estudiarse la información existente acerca del diseño y construcción de la edificación original y sus posteriores modificaciones y deben hacerse exploraciones en la edificación, todo esto de acuerdo con A.10.2.

**Paso 3** - El estado del sistema estructural debe calificarse con respecto a: **(a)** la calidad del diseño de la estructura original y de la construcción de la misma y **(b)** el estado de mantenimiento y conservación. Esta calificación debe hacerse de acuerdo con los requisitos de A.10.2.

#### **EVALUACION DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE**

**Paso 4** - Deben determinarse unas solicitaciones equivalentes de acuerdo con los requisitos de A.10.3.2.

**Paso 5** - Debe llevarse a cabo un análisis elástico de la estructura para las solicitaciones equivalentes definidas en el Paso 4.

**Paso 6** - La resistencia existente de la edificación debe determinarse utilizando los requisitos de A.10.3.3.3.

**Paso 7** - Se debe obtener una resistencia efectiva de la estructura, a partir de la resistencia existente, afectándola por dos coeficientes de reducción de resistencia obtenidos de los resultados de la calificación llevada a cabo en el Paso 3.

**Paso 8** - Debe determinarse un índice de sobreesfuerzo como el máximo cociente obtenido para cualquier elemento o sección de éste, entre las fuerzas internas solicitadas obtenidas del análisis estructural realizado en el Paso 5 para las solicitaciones equivalentes definidas en el Paso 4 y la resistencia efectiva obtenida en el Paso 7.

**Paso 9** - Utilizando los desplazamientos horizontales obtenidos en el análisis del Paso 5 deben obtenerse las derivas de la estructura.

**Paso 10** - Debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos horizontales como el máximo cociente entre las derivas obtenidas en el Paso 9 y las derivas permitidas por el Reglamento en el Capítulo A.6. Igualmente debe determinarse un índice de flexibilidad por efectos verticales como el máximo cociente entre las deflexiones verticales medidas en la edificación y las deflexiones permitidas por el presente Reglamento.

### **MODIFICACION DEL SISTEMA ESTRUCTURAL**

**Paso 11** - El tipo de modificación debe definirse de acuerdo con A.10.4 dentro de una de tres categorías: **(a)** Ampliaciones adosadas, **(b)** Ampliaciones en altura y **(c)** Actualizaciones al Reglamento.

**Paso 12** - El conjunto debe analizarse nuevamente incluyendo la modificación. Esta debe diseñarse para las fuerzas y esfuerzos obtenidos de este nuevo análisis. El diseño y construcción debe llevarse a cabo de acuerdo con los requisitos que para cada tipo de modificación establece el presente Capítulo.

**A.10.1.5 - CALCULOS, MEMORIAS Y PLANOS** - Debe elaborarse una memoria justificativa de cálculos en la cual deben quedar claramente consignados los siguientes aspectos:

**(a)** Una relación de los documentos de diseño y construcción de la edificación original que fueron utilizados en la evaluación y diseño de las modificaciones, tales como: planos arquitectónicos y estructurales, memorias de cálculo, estudios de suelos, registros de la interventoría, libros de obra, consultas personales a profesionales que participaron en el diseño o construcción, etc.

**(b)** Una relación de la evaluación del estado actual de la edificación llevada a cabo como lo exige A.10.2.

**(c)** Una descripción muy clara justificando la definición de los parámetros de evaluación y diseño que provienen del estudio de la situación actual de la edificación.

**(d)** Memoria de cálculos del diseño de la modificación a la estructura con la correspondiente justificación de que la estructura final tendrá la resistencia y comportamiento esperados, cuando actúa en conjunto con la estructura preexistente.

**(e)** Los otros documentos apropiados, a juicio del diseñador, de aquellos que exige el presente Reglamento para edificaciones nuevas.

**A.10.1.5.1** - Esta memoria debe ir firmada por un Ingeniero Civil debidamente matriculado, que cumpla las condiciones establecidas en los Artículos 26 y 27 de la Ley 400 de 1997.

**A.10.1.6 - SUPERVISION TECNICA** - La construcción de la alteración del sistema estructural existente debe someterse, en todos los casos, a una supervisión técnica dentro del alcance que se da en el Título I del presente Reglamento.

**A.10.1.6.1** - El Supervisor Técnico debe dejar constancia en los registros de la supervisión de que las hipótesis en que se basó el diseñador fueron confirmadas en la obra. En caso de presentarse discrepancias debe quedar constancia escrita de que el diseñador fue informado de ellas y de las acciones correctivas que él fijó.

**A.10.1.7 - CRITERIO Y RESPONSABILIDAD DEL INGENIERO** - El tipo de diseño a que hace referencia en su alcance este documento exige el mejor criterio y experiencia por parte del ingeniero que lo lleva a cabo, dado que el diseñador se hace responsable, dentro del mismo alcance que tiene esa responsabilidad en el presente Reglamento, de la correcta aplicación de los requisitos del Reglamento y del comportamiento de la edificación en el futuro.

## A.10.2 - ESTUDIOS E INVESTIGACIONES REQUERIDAS

**A.10.2.1 - INFORMACION PREVIA** - Deben realizarse investigaciones sobre la construcción existente, tendientes a determinar los siguientes aspectos acerca de ella:

- (a) Cuando se disponga de documentos descriptivos del diseño de la estructura original, debe constatarse en el sitio su concordancia con la construcción tal como se encuentra en el momento. Deben hacerse exploraciones en lugares representativos y dejar constancia del alcance de estas exploraciones.
- (b) La calidad de la construcción de la estructura original debe determinarse de una manera cualitativa.
- (c) El estado de conservación de la estructura debe evaluarse de una manera cualitativa.
- (d) Debe investigarse la estructura con el fin de determinar su estado a través de evidencia de fallas locales, deflexiones excesivas, corrosión de las armaduras y otros indicios de su comportamiento.
- (e) Debe investigarse la ocurrencia de asentamientos de la cimentación y su efecto en la estructura.
- (f) Debe determinarse la eventual ocurrencia en el pasado de eventos extraordinarios que hayan podido afectar la integridad de la estructura, debidos a incendio, sismo, remodelaciones previas, colocación de acabados que hayan aumentado las cargas, y otras modificaciones.

**A.10.2.2 - ESTADO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL** - Debe calificarse el estado del sistema estructural de la edificación de una manera totalmente cualitativa con base en la calidad del diseño y construcción de la estructura original y en su estado actual. Esta calificación se debe realizar de la manera prescrita a continuación:

**A.10.2.2.1 - Calidad del diseño y la construcción de la estructura original** - Esta calificación se define en términos de la mejor tecnología existente en la época en que se construyó la edificación. Al respecto puede utilizarse información tal como: registros de interventoría la construcción y ensayos realizados especialmente para ello. Dentro de la calificación debe tenerse en cuenta el potencial de mal comportamiento de la edificación debido a distribución irregular de la masa o la rigidez, ausencia de diafragmas, anclajes, amarres y otros elementos necesarios para garantizar un buen comportamiento de ella ante las distintas sollicitaciones. La calidad del diseño y la construcción de la estructura original debe calificarse como buena, regular o mala.

**A.10.2.2.2 - Estado de la estructura** - Debe hacerse una calificación del estado actual de la estructura de la edificación, basada en aspectos tales como: sismos que la puedan haber afectado, fisuración por cambios de temperatura, corrosión de las armaduras, asentamientos diferenciales, reformas, deflexiones excesivas, estado de elementos de unión y otros aspectos que permitan determinar su estado actual. El estado de la estructura existente debe calificarse como bueno, regular o malo.

## A.10.3 - CRITERIOS DE EVALUACION DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

**A.10.3.1 - GENERAL** - Debe determinarse si la edificación en su estado actual, está en capacidad de resistir adecuadamente las cargas prescritas por el presente Reglamento.

**A.10.3.2 - SOLICITACIONES EQUIVALENTES** - Debe establecerse una equivalencia entre las sollicitaciones que prescribe el Reglamento, para estructuras nuevas y las que está en capacidad de resistir la estructura en su estado actual. Al respecto se deben utilizar los siguientes criterios:

**A.10.3.2.1 – Movimientos sísmicos de diseño** - Deben utilizarse los movimientos sísmicos de diseño que prescribe el Capítulo A.2 para el lugar en que se encuentre la edificación, para el Grupo de Uso que va a tener una vez se lleve a cabo la modificación.

**A.10.3.2.2 - Clasificación del sistema estructural** - El sistema estructural debe clasificarse dentro de uno de los sistemas estructurales que define el Capítulo A.3.

**A.10.3.2.3 - Coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R'$**  - De acuerdo con el sistema estructural a que corresponda la edificación y a los requisitos constructivos y de diseño que se hayan seguido en la ejecución de la estructura original debe asignarse un valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$  ( $R = f_a f_p R_0$ ), el cual se denominará  $R'$  dentro del presente Capítulo. La asignación debe hacerse de acuerdo con la información disponible sobre la estructura.

- (a) Cuando se disponga de buena información sobre el diseño original, tal como planos y memorias, se permite, de acuerdo con el mejor criterio del ingeniero que lleva a cabo la evaluación, determinar un valor de coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R'$ , por comparación con los requisitos que para el material y el sistema estructural fija el Reglamento. La selección del coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R'$ , cuando haya cumplimiento parcial de los requisitos puede aproximarse interpolando entre los valores de  $R$  que da el Capítulo A.3.
- (b) Cuando no se disponga de buena información sobre el diseño original, o ésta sea incompleta o fragmentaria, el ingeniero que lleve a cabo la evaluación debe definir un valor de  $R'$  de acuerdo con su mejor criterio. Este valor no puede ser mayor que el valor que el Capítulo A.3 establezca para mismo sistema estructural y el mismo material.
- (c) Cuando no exista ningún tipo de información se permite utilizar un valor de  $R'$  correspondiente a tres cuartos del valor que fija el Capítulo A.3 para el mismo sistema estructural y el mismo material. El valor así obtenido no hay necesidad de que sea menor que la unidad.
- (d) Cuando se trate de edificaciones de mampostería no reforzada, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R'$ , debe ser igual a la unidad.

**A.10.3.2.4 – Fuerzas sísmicas** – Las fuerzas sísmicas,  $F_s$ , que el sismo de diseño impone a la edificación se deben determinar por medio del método de la fuerza horizontal equivalente, tal como lo prescribe el Capítulo A.4. Estas fuerzas sísmicas deben distribuirse en la altura de acuerdo con el mismo método de la fuerza horizontal equivalente. Se permite utilizar el método del análisis dinámico dado en el Capítulo A.5, si a juicio del diseñador hay suficiente información para permitir su uso.

**A.10.3.2.5 - Cargas diferentes a las solicitaciones sísmicas** - Las otras solicitaciones diferentes a las solicitaciones sísmicas deben determinarse siguiendo los requisitos del Título B, con excepción de las cargas muertas, las cuales deben evaluarse con base en observaciones y mediciones de campo. Las cargas muertas en ningún caso, para efectos de determinar las solicitaciones equivalentes, pueden ser menores a las prescritas en el Título B.

**A.10.3.2.6 - Análisis estructural** - Con el fin de determinar las fuerzas y esfuerzos internos de la estructura debe llevarse a cabo un análisis estructural por medio de uno de los modelos matemáticos permitidos por este Reglamento.

**A.10.3.2.7 – Obtención de las solicitaciones equivalentes** - Las diferentes solicitaciones que deben ser tenidas en cuenta, se combinan para obtener las fuerzas internas equivalentes que se emplean en la revisión de la estructura existente. Esta combinación debe realizarse de acuerdo con los requisitos del Capítulo B.2 del Reglamento, por el método de diseño propio de cada material estructural. En cada una de las combinaciones de carga requeridas, las solicitaciones se multiplican por el coeficiente de carga prescrito para esa combinación en el Capítulo B.2 del Reglamento. En los efectos causados por el sismo de diseño se tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, lo cual se logra empleando unos efectos sísmicos reducidos de revisión,  $E$ , obtenidos dividiendo las fuerzas sísmicas  $F_s$ , por el coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R'$  ( $E = F_s / R'$ ).

**A.10.3.3 - RELACION ENTRE DEMANDA Y CAPACIDAD** - Deben determinarse unos índices de sobreesfuerzo y de flexibilidad, que permitan definir la capacidad de la estructura existente de soportar y responder adecuadamente ante las solicitaciones equivalentes definidas en A.10.3.2.

**A.10.3.3.1 - Definición del índice de sobreesfuerzo** - El índice de sobreesfuerzo se expresa como el cociente entre las solicitaciones equivalentes, calculadas de acuerdo con A.10.3.2 y la resistencia efectiva. Tiene dos acepciones:

- (a) **índice de sobreesfuerzo de los elementos**, el cual se refiere al índice de sobreesfuerzo de cada uno de los elementos estructurales individuales, e
- (b) **índice de sobreesfuerzo de la estructura**, cuando se determina para toda la estructura, evaluando los elementos con un mayor índice de sobreesfuerzo individual y tomando en consideración su importancia dentro de la resistencia general de la estructura como un conjunto.

**A.10.3.3.2 - Determinación del índice de sobreesfuerzo** - Para todos los elementos de la estructura y para todos los efectos tales como cortante, flexión, torsión, etc., debe dividirse la fuerza o esfuerzo que se le exige al aplicarle las solicitaciones equivalentes, mayoradas de acuerdo con el procedimiento dado en el Título B del Reglamento y para las combinaciones de carga dadas allí, por la resistencia efectiva del elemento. El índice de sobreesfuerzo para toda la estructura corresponderá al mayor valor obtenido de estos cocientes, entre los elementos que puedan poner en peligro la estabilidad general de la edificación.

**A.10.3.3.3 - Resistencia existente de los elementos** - La resistencia existente de los elementos de la estructura,  $N_{ex}$ , debe ser determinada por el ingeniero que hace la evaluación con base en la información disponible y utilizando su mejor criterio y experiencia. Por resistencia se define el nivel de fuerza o esfuerzo al cual el elemento deja de responder en el rango elástico o el nivel al cual los materiales frágiles llegan a su resistencia máxima o el nivel al cual los materiales dúctiles inician su fluencia. En general la resistencia existente corresponde a los valores que se obtienen para cada material estructural al aplicar los modelos de resistencia que prescribe el Reglamento en los títulos correspondientes.

**A.10.3.3.4 - Resistencia efectiva** - La resistencia efectiva  $N_{ef}$  de los elementos, o de la estructura en general, debe evaluarse como el producto de la resistencia existente  $N_{ex}$ , multiplicada por los coeficientes de reducción de resistencia  $f_c$  y  $f_e$ , así:

$$N_{ef} = f_c f_e N_{ex} \quad \text{(A.10-1)}$$

donde a  $f_c$  y  $f_e$  se les asigna el valor dado en la Tabla A.10-1, dependiendo de la calificación de la calidad y estado de la estructura definidas en A.10.2.2.1 y A.10.2.2.3.

**A.10.3.3.5 - Definición del índice de flexibilidad** - Debe determinarse un índice de flexibilidad, el cual indica la susceptibilidad de la estructura a tener deflexiones o derivas excesivas, con respecto a las permitidas por el Reglamento. Tiene dos acepciones:

- (a) **índice de flexibilidad del piso**, el cual se define como el cociente entre la deflexión o deriva obtenida del análisis de la estructura, y la permitida por el Reglamento, para cada uno de los pisos de la edificación, y
- (b) **índice de flexibilidad de la estructura**, definido como el mayor valor de los índices de flexibilidad de piso de toda la estructura. Se debe evaluar para las deflexiones verticales y para las derivas.

**Tabla A.10-1**  
**Valores de  $f_c$  y  $f_e$**

	<b>Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación</b>		
	Buena	Regular	Mala
<b><math>f_c</math> o <math>f_e</math></b>	0.9	0.7	0.5

## **A.10.4 - TIPOS DE MODIFICACION**

Se consideran los siguientes tipos de modificación a la estructura existente:

**A.10.4.1 - AMPLIACIONES** - Cubre aquellas edificaciones donde se amplía su área con o sin modificación en su altura. Se dividen en:

- (a) **Ampliación adosada** - Es aquella en que se amplía el área sin modificar su altura. La ampliación debe diseñarse y construirse siguiendo los requisitos de A.10.5.
- (b) **Ampliación en altura** - Es aquella en que se modifica la altura de la edificación con o sin aumento del área construida. El diseño y la construcción de este tipo de ampliación debe llevarse a cabo siguiendo los requisitos de A.10.6.

**A.10.4.2 - ACTUALIZACION AL REGLAMENTO** - Cubre aquellas edificaciones donde no hay modificación ni en el área ni en su altura y donde voluntariamente el propietario está mejorando la capacidad del sistema estructural para que sea capaz de resistir las sollicitaciones que exige la presente versión del Reglamento y así obtener el nivel de comportamiento que se espera de una edificación nueva que se haya construido de acuerdo con él. La actualización debe hacerse siguiendo los requisitos que se dan en A.10.7.

## **A.10.5 - MODIFICACIONES ADOSADAS**

A continuación se dan los requisitos que deben cumplirse en el diseño y ejecución de modificaciones adosadas:

**A.10.5.1 - NECESIDAD DE MODIFICAR LA ESTRUCTURA EXISTENTE** - Cuando los índices de sobreesfuerzo y flexibilidad de la estructura existente son menores que la unidad no hay necesidad de modificar el sistema estructural existente, siempre y cuando la porción nueva de la edificación se separe de la antigua con una junta apropiada de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.6 del Reglamento. En este caso la porción nueva debe diseñarse y construirse de acuerdo con los requisitos del Reglamento.

**A.10.5.1.1** - En aquellos casos en que para la edificación existente el índice de sobreesfuerzo o el índice de flexibilidad sea mayor que la unidad, hay necesidad de modificar el sistema estructural de la porción existente hasta el punto en que el índice de sobreesfuerzo y el de flexibilidad sean menores que la unidad, aún en aquellos casos en que se separe la porción antigua de la nueva por medio de una junta.

**A.10.5.2 - RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE FUNCIONAMIENTO REQUERIDAS** - La edificación resultante de la modificación, incluyendo la parte nueva y la antigua, debe ser analizada nuevamente y deben diseñarse los elementos estructurales nuevos, de tal manera que la edificación quede con un índice de sobreesfuerzo y un índice de flexibilidad menores que la unidad.

**A.10.5.2.1** - Cuando la porción nueva se separe de la porción existente por medio de una junta apropiada, la porción nueva debe diseñarse en su totalidad siguiendo los requisitos del Reglamento. La porción existente debe modificarse de tal manera que su índice de sobreesfuerzo y su índice de flexibilidad sean menores o iguales a la unidad. Sólo en aquellos casos en que la licencia de construcción de la ampliación no cubra la porción antigua puede dejarse esta porción sin modificación y se debe marcar claramente en los planos y documentos el hecho de que esta porción no fue intervenida, y que por lo tanto su comportamiento esperado puede ser diferente al de la porción nueva.

**A.10.5.2.2** - Cuando las dos edificaciones, antigua y nueva, trabajen en conjunto ante las sollicitaciones requeridas, las fuerzas horizontales deben distribuirse en proporción a las rigideces relativas de las dos porciones teniendo especial cuidado en evitar efectos torsionales nocivos al unir las porciones antigua y nueva de la edificación. El diseñador debe demostrar que el efecto torsional fue tomado en cuenta. Cuando la porción antigua se repare adecuadamente, se permite modificar el valor de  $R'$  así como la clasificación de estado de la edificación y utilizar el nuevo valor de coeficiente de reducción de resistencia por estado de la edificación,  $f_e$  en el cálculo del índice de sobreesfuerzo.

**A.10.5.3 - REQUISITOS CONSTRUCTIVOS** - La porción nueva debe diseñarse y construirse siguiendo los requisitos propios para el material y el sistema estructural que el Reglamento fije para la zona de amenaza sísmica donde se encuentre localizada la edificación.

**A.10.5.4 - EFECTOS EN LA CIMENTACION** - Debe demostrarse que la cimentación de la porción nueva no afecta la cimentación de la parte antigua y que el conjunto se comportará adecuadamente desde el punto de vista de asentamientos y capacidad portante del suelo. En aquellos casos en que la cimentación antigua deba soportar cargas de la porción nueva, debe hacerse una exploración de la cimentación antigua, supervisada por un ingeniero geotecnista, que demuestre que existe la capacidad adecuada para resistir las nuevas cargas que se le imponen sin efectos nocivos.

## A.10.6 - AMPLIACION EN ALTURA

A continuación se dan los requisitos que deben cumplirse en el diseño y ejecución de ampliaciones en la altura:

**A.10.6.1 - TRABAJO EN CONJUNTO** - En este tipo de modificaciones las dos porciones de la edificación trabajan en conjunto tanto para fuerzas horizontales como para cargas verticales, por lo tanto todo análisis y diseño debe tener en cuenta de una manera integrada la porción antigua y la porción nueva; y se deben tomar todas las precauciones necesarias para que la acción en conjunto ocurra, disponiendo elementos de amarre adecuados.

**A.10.6.2 - RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE FUNCIONAMIENTO REQUERIDAS** - La edificación en conjunto debe analizarse nuevamente y utilizando las fuerzas y esfuerzos obtenidos de este nuevo análisis debe demostrarse que es capaz de resistir las solicitaciones que exige el Reglamento tanto para cargas verticales como para fuerzas horizontales. Además debe demostrarse que la cimentación, incluyendo las modificaciones que se le hagan, es capaz de resistir las cargas que fija el Reglamento. La resistencia se debe evaluar de acuerdo con lo siguiente:

**A.10.6.2.1 - Cargas verticales** - La estructura en su totalidad debe ser capaz de resistir las cargas verticales que fija el Reglamento. La resistencia de los elementos de la porción antigua no puede tenerse en un valor mayor que la resistencia efectiva evaluada de acuerdo con A.10.3.3.4. Para efectos de esta evaluación el coeficiente de reducción de resistencia por estado de la estructura,  $f_e$ , puede actualizarse al nivel de estado que se obtiene después de la reparación.

**A.10.6.2.2 - Fuerzas horizontales** - Las solicitaciones sísmicas deben determinarse utilizando el mismo coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R'$ , utilizado en la determinación del índice de sobre esfuerzo, calculado de acuerdo con A.10.3.3.4. Estas solicitaciones deben calcularse para toda la edificación, incluyendo la parte nueva y la antigua. La resistencia de los elementos de la porción antigua no puede sobrepasar la resistencia efectiva evaluada de acuerdo con las prescripciones de A.10.3.3.3. Para efectos de esta evaluación el coeficiente de reducción de resistencia por estado de la estructura,  $f_e$ , puede actualizarse al nivel de estado que se obtiene después de la reparación.

**A.10.6.3 - ELEMENTOS ESTRUCTURALES ADICIONALES EN LA PORCION ANTIGUA** - En caso de que al calcular, para el conjunto, el índice de sobre esfuerzo o de flexibilidad, se encuentre que la porción antigua no tiene suficiente resistencia o rigidez para garantizar un buen comportamiento, deben proveerse elementos adicionales que den suficiente resistencia y rigidez para obtener un índice de sobre esfuerzo y un índice de flexibilidad menor que la unidad.

**A.10.6.4 - EMPALME DE ELEMENTOS NUEVOS CON ELEMENTOS ANTIGUOS** - Debe demostrarse por análisis o ensayo que los empalmes entre elementos nuevos y antiguos son capaces de transferir las fuerzas que se les solicitan.

**A.10.6.5 - REQUISITOS CONSTRUCTIVOS** - Todos los elementos estructurales nuevos, colocados en la porción nueva o antigua, deben cumplir los requisitos que para el material estructural exige el Reglamento, para el grado de capacidad de disipación de energía apropiado.

**A.10.6.6 - EFECTOS EN LA CIMENTACION** - El efecto de las fuerzas horizontales y verticales en la cimentación de la estructura, tomada en conjunto, debe ser investigado bajo la supervisión de un Ingeniero geotecnista. Debe demostrarse que la cimentación es capaz de comportarse adecuadamente desde el punto de vista de capacidad portante, asentamientos y especialmente para el efecto de vuelco producido por la fuerzas horizontales trabajando con una nueva altura mayor de la edificación.

## A.10.7 - REFORZAMIENTO Y REHABILITACIÓN SÍSMICA

A continuación se establecen los requisitos que se deben cumplir en el diseño y ejecución de actualizaciones a la presente versión del Reglamento y en las intervenciones de reforzamiento y rehabilitación sísmica.

**A.10.7.1 - ALCANCE** - Los requisitos de la presente sección aplican para las siguientes edificaciones:

- (a) Las designadas por la Ley 400 de 1997 y sus decretos reglamentarios, como de obligatoria actualización.
- (b) Aquellas cuyo uso se modifique.



- (c) Las que hayan sido dañadas por sismos, y
- (d) Las que su propietario desee actualizar voluntariamente, conforme al presente reglamento.

**A.10.7.2 - RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE FUNCIONAMIENTO REQUERIDAS SEGÚN EL USO Y LA EDAD DE LA EDIFICACIÓN** - A continuación se definen los requisitos mínimos que deben cumplirse para el reforzamiento y rehabilitación sísmica, según el uso y la edad de las edificaciones:

**A.10.7.2.1 - Intervención de edificaciones indispensables y de atención a la comunidad-** La intervención de edificaciones pertenecientes a los grupos de uso III y IV, tal como los define A.2.5 independientemente de la época de construcción de la edificación, debe ser de un alcance tal que la edificación después de su intervención cumpla los requisitos del presente Reglamento y la edificación una vez intervenida quede con un índice de sobreesfuerzo y un índice de flexibilidad menores que la unidad. La intervención de los elementos no estructurales puede limitarse a elementos de fachada y columnas cortas o cautivas y a aquellos que se encuentren en mal estado y representen un peligro para la vida ante la ocurrencia de un sismo en el futuro. Al respecto debe consultarse A.9.5.2.

**A.10.7.2.2 - Intervención de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia de la Ley 400 de 1997** - Las estructuras diseñadas y construidas con posterioridad al 19 de febrero de 1998, dentro de la vigencia de la Ley 400 de 1997, deben tratarse de acuerdo con los criterios y requisitos del presente Reglamento, de tal manera que la edificación una vez intervenida quede con un índice de sobreesfuerzo y un índice de flexibilidad menores que la unidad

**A.10.7.2.3 - Intervención de edificaciones diseñadas y construidas dentro de la vigencia del Decreto 1400 de 1984** - En la intervención de edificaciones diseñadas y construidas después del 1° de diciembre de 1984 y antes del 19 de febrero de 1998, dentro de la vigencia del Decreto 1400 de 1984, se permite cumplir con los siguientes requisitos mínimos, sustitutivos de los requisitos correspondientes contenidos en el presente Reglamento:

- (a) Se permite que el índice de flexibilidad evaluado para la edificación reparada alcance, sin exceder, valores hasta de 1.5. El índice de sobreesfuerzos no puede exceder la unidad.
- (b) La intervención de los elementos no estructurales puede limitarse a elementos de fachada y columnas cortas o cautivas y a aquellos que se encuentren en mal estado y representen un peligro para la vida ante la ocurrencia de un sismo en el futuro. Al respecto debe consultarse A.9.5.2.

**A.10.7.2.4 - Intervención de edificaciones diseñadas y construidas antes de la vigencia del Decreto 1400 de 1984** - Las estructuras diseñadas y construidas antes del 1° de diciembre de 1984, fecha en que entró en vigencia el Decreto 1400 de 1984, deben obtener, como mínimo, al ser intervenidas, un nivel de seguridad equivalente al que se obtendría al aplicar lo establecido en A. 10.7.2.3. No obstante, para edificaciones pertenecientes a particulares y para reparaciones post terremoto, se permitirá un nivel menor de seguridad sísmica siempre y cuando este menor nivel se justifique debidamente por parte del ingeniero diseñador estructural, y por parte del diseñador de los elementos no estructurales si es del caso, y se acepte por parte del propietario; incluyendo dentro de los documentos que se presentan para obtener las licencias y permisos correspondientes, un memorial firmado en conjunto en el cual se incluyan las razones que motivan la reducción, el nivel de seguridad sísmica obtenido, y las medidas que se adoptarán para proteger al público en general.

**A.10.7.3 - REQUISITOS CONSTRUCTIVOS** - La modificación debe llevarse a cabo cumpliendo los requisitos, para el material y sistema estructural de la edificación, exigidos para el grado de capacidad de disipación de energía utilizado en la determinación de índice de sobreesfuerzo de la edificación existente.

## **A.10.8 - ANALISIS DE VULNERABILIDAD**

**A.10.8.1 – GENERAL** - El análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en los siguientes aspectos:

- (a) determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación, considerando las relaciones entre la demanda sísmica de esfuerzos y la capacidad de resistirlos,
- (b) formulación de una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con un mayor índice de sobreesfuerzo,

- (c) definición de un índice de sobreesfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados de (b). El inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de la edificación como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento, y
- (d) obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento definido en A.10.3.3.5. El inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento.

**A.10.8.2 – EDIFICACIONES INDISPENSABLES** – En la verificación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones indispensables existentes se debe incluir, además de los indicado en A.10.8.1, al menos los siguientes aspectos:

- (a) identificar la influencia de los movimientos sísmicos de diseño de Capítulo A.2, y de los movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño del Capítulo A.12,
- (b) determinar el cortante basal resistente de la edificación en su totalidad, ya sea por flexión o por esfuerzos cortantes, teniendo en cuenta los diferentes mecanismos de colapso posibles. Esta verificación puede realizarse para la distribución, en la altura de la edificación, de las fuerzas sísmicas horizontales que prescribe el método de la fuerza horizontal equivalente, Capítulo A.4, o el método del análisis dinámico, Capítulo A.5, y
- (c) debe, por medio de metodologías inelásticas adecuadamente sustentadas, llevar a cabo la identificación del modo de falla prevaleciente, ya sea por flexión o por cortante. El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía **R'** a emplear, debe ser concordante con la sustentación indicada, con la secuencia de degradación de rigidez y resistencia esperadas, y con su influencia en la vulnerabilidad sísmica de la edificación.

**A.10.8.3 - METODOLOGÍAS ALTERNAS** - Exclusivamente en la evaluación de vulnerabilidad de edificaciones existentes, en reemplazo de lo prescrito en A.10.3, siempre y cuando se garanticen los criterios de resistencia y capacidad de funcionamiento establecidos en A.10.7, alternativamente se permite el empleo de las secciones correspondientes a análisis de vulnerabilidad de los siguientes documentos:

- (a) "*NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*", Federal Emergency Management Agency, FEMA 273/274, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., USA, 1997
- (b) "*NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*", Federal Emergency Management Agency, FEMA 276, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., USA, 1999.
- (c) "*Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings - ATC-40r*", Applied Technology Council, Redwood City, CA, USA, 1996.

## **A.10.9 - REPARACIÓN DE EDIFICACIONES CON POSTERIORIDAD A LA OCURRENCIA DE UN SISMO**

**A.10.9.1 - GENERAL** - Con posterioridad a la ocurrencia de un sismo las edificaciones que hayan sufrido daños moderados a severos en su estructura, o daños moderados a severos en sus elementos no estructurales, o ambos, y que no hayan sido designadas como de obligatoria demolición total por la autoridad competente o por el censo que se realice para ese efecto; deben ser reparadas de acuerdo con las exigencias y criterios que a continuación se establecen:

**A.10.9.1.1 - Objeto** - Una edificación reparada de acuerdo con los requisitos establecidos aquí, debe cumplir el propósito mismo de las normas sismo resistentes como se indica en el artículo 1° de la Ley 400 de 1997 y en A. 1.2.2 del presente Reglamento.

**A.10.9.1.2 • Alcance de la reparación** - De acuerdo con la tipología de los daños presentados, con excepción de las edificaciones de los grupos de uso III y IV las cuales deben cumplir con lo establecido en A.10.7.2.1, el alcance de la reparación se podrá enfocar de una de las siguientes maneras:

1. **Daños en los elementos no estructurales, sin daño en los elementos estructurales** - La reparación se limitará a intervenir los elementos no estructurales afectados, de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.9 del Reglamento.
2. **Daños estructurales imputables a interacción adversa con elementos no estructurales** - El alcance de la reparación se puede limitar a reparar los elementos estructurales afectados, eliminando la

interacción adversa de los elementos no estructurales, siguiendo los requisitos del Capítulo A.9.

**3. Todos los otros daños** - El alcance de la reparación estará dictado por la capacidad de cumplir los objetivos estructurales primordiales del diseño sismo resistente de proveer resistencia adecuada ante los efectos de los movimientos impuestos por el sismo sin que la estructura tenga deflexiones horizontales (derivadas) excesivas al verse afectada por ellos. Para garantizar el cumplimiento de estos objetivos debe realizarse una evaluación de la estructura en general y de acuerdo con los resultados de esta evaluación determinar los elementos de la edificación que deben intervenir, los cuales en muchos casos comprenden más de los que simplemente hay que reparar. El alcance de la intervención debe cubrir como mínimo:

- (a) Los elementos estructurales que sufrieron daño,
- (b) Los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica necesarios para dar la resistencia sísmica mínima requerida,
- (c) Los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica necesarios para cumplir los requisitos de deriva, y
- (d) Los elementos no estructurales que sufrieron daño.

**A.10.9.1.3 - Ocupación de la edificación durante su reparación** – La edificación puede ser ocupada durante la ejecución de la reparación, si los profesionales encargados de su diseño y dirección emiten un concepto positivo al respecto, con base en que no haya peligro para la vida de los ocupantes.

**A.10.9.2 - ESTUDIOS E INVESTIGACIONES REQUERIDAS** - Para efectos de poder adelantar la reparación deben realizarse, como mínimo, los estudios e investigaciones que se describen a continuación:

**A.10.9.2.1 - Procedimiento de evaluación de los daños y del diseño de la reparación** - Debe seguirse el procedimiento indicado en A. 10.1.4, y en los pasos 11 y 12 se deben seguir los requisitos de la presente sección A. 10.9. Para edificaciones de concreto estructural y mampostería, en la parte metodológica del diseño de la reparación se permite el empleo de las recomendaciones contenidas en los documentos:

- (a) "*Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings - Basic Procedures Manual*", Federal Emergency Management Agency, FEMA 306, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., USA, 1999.
- (b) "*Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings - Technical Resources*", Federal Emergency Management Agency, FEMA 307, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., USA, 1999.

**A.10.9.2.2 - Cálculos memorias y planos de la reparación** - Los cálculos, memorias y planos de la reparación deben ajustarse a lo requerido en A.10.1.5.

**A.10.9.2.3 - Supervisión técnica** - La reparación debe someterse a una supervisión técnica cuando la Ley 400 de 1997 y sus reglamentos la requiera.

**A.10.9.2.4 - Información sobre la estructura y su estado** - Deben seguirse los requisitos de A.10.2.

**A.10.9.2.5 - Criterios para diseñar la reparación** - Los criterios que se deben emplear para identificar la causa de los daños y su reparación, son los establecidos en A. 10.3, modificados de acuerdo con lo indicado en A. 10.7.2 según la edad de la edificación. Para edificaciones de concreto estructural y mampostería, en la parte metodológica del diseño de la reparación se permite el empleo de las recomendaciones contenidas en el siguiente documento:

*"Repair of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings*. Federal Emergency Management Agency, FEMA 308, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C., USA, 1999





## CAPITULO A.11

### INSTRUMENTACION SISMICA

#### A.11.1 - GENERAL

**A.11.1.1 - INSTRUMENTACION** - En el presente Capítulo se indica cuándo deben colocarse instrumentos sísmicos en las edificaciones, en dónde deben localizarse y quién corre con los costos de los instrumentos, del espacio que éstos ocupen y del mantenimiento y vigilancia de los mismos.

**A.11.1.2 - ACELEROGRAFOS** - En la instrumentación sísmica de edificaciones deben emplearse acelerógrafos digitales de movimiento fuerte.

(a) **Objetivos de la instrumentación** - Dentro de los objetivos de este tipo de instrumentación se encuentra la recolección de registros que permitan, entre otros: la medición de los períodos de vibración de la edificación al verse sometida a movimientos sísmicos, la determinación del nivel de daño que ocurrió a la edificación debido a la ocurrencia de un sismo que la afecte, la identificación de efectos de sitio causados por la amplificación de las ondas sísmicas debida a los estratos de suelo subyacentes, el grado de atenuación que sufren las ondas sísmicas al viajar desde el lugar donde ocurre la liberación de energía hasta el sitio donde se encuentre localizada la edificación, y en general el mejoramiento sobre el conocimiento que se tiene a nivel nacional de los fenómenos sísmicos y sus efectos sobre las construcciones y los materiales de construcción nacionales. La valiosa información que se recolecta por medio de la instrumentación permitirá realizar ajustes a los requisitos del presente Reglamento en sus ediciones futuras; llevando, a una reducción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones colombianas, y, muy seguramente, a una reducción de los costos de proveer seguridad sísmica a ellas.

(b) **Aprobación del tipo de instrumento** - INGEOMINAS es la entidad gubernamental que opera la Red Nacional de Acelerógrafos y es la encargada de aprobar los tipos de instrumentos que se coloquen en las edificaciones que los requieran de acuerdo con los requisitos del presente Capítulo. El INGEOMINAS mantendrá una lista de los tipos de instrumentos aprobados para ser colocados en edificaciones, tal como requiere el presente Capítulo. La Red Nacional de Acelerógrafos del INGEOMINAS debe recibir gratuitamente copia de los registros obtenidos, independientemente de quien sea el propietario del instrumento.

**A.11.1.3 - LOCALIZACION** - La definición de la localización de los instrumentos sísmicos acelerográficos dentro de las edificaciones es responsabilidad del Ingeniero que realice el diseño estructural del proyecto, atendiendo las recomendaciones dadas en la presente sección y en A.11.1.4. La localización de los instrumentos debe estar comprendida dentro uno de los siguientes tipos:

(a) **Instrumentación en la altura** - Se dispone un mínimo de tres instrumentos en la altura de la edificación, de tal manera que exista al menos uno en su base, uno a media altura de la edificación y uno en el nivel superior. En este caso el instrumento colocado en la base debe tener tres sensores triaxiales con dos componentes horizontales ortogonales y una componente vertical, y los otros dos instrumentos pueden tener solo dos sensores horizontales ortogonales.

(b) **Instrumento único en la edificación** - Cuando se coloca un solo instrumento en la edificación, éste debe localizarse en la base de la misma.

(c) **Instrumento de campo abierto** - Se coloca un instrumento sobre el terreno, alejado de las edificaciones, por lo menos una distancia igual a su altura.

(d) **Arreglo de instrumentos** - Se dispone un conjunto de instrumentos que cubren las localizaciones anteriores. En este caso los instrumentos deben tener un dispositivo que inicie el registro de aceleraciones en todos ellos simultáneamente.

**A.11.1.3.1** - En todas las edificaciones donde se coloquen instrumentos sísmicos, se debe realizar un estudio geotécnico cuyo alcance permita definir las propiedades dinámicas del suelo en el sitio.

**A.11.1.4 - CARACTERISTICAS DEL ESPACIO DONDE SE COLOCA EL INSTRUMENTO** - El espacio físico donde se coloca el instrumento debe tener al menos un área de dos metros cuadrados con una dimensión mínima en planta de 1.20 metros y una altura libre mínima de dos metros, debe estar alejado de las zonas alta circulación, de maquinarias y equipos que induzcan vibraciones. El espacio debe ser cerrado, pero con ventilación adecuada, y ser

de un material adecuado para garantizar la seguridad del instrumento. Además se debe colocar dentro de él una toma eléctrica doble, un breaker de 15 amperios y una salida de iluminación eléctrica con interruptor. El piso debe ser de concreto y de un espesor suficiente para permitir el anclaje del instrumento (mínimo 15 cm). El espacio no puede ser utilizado para ningún otro fin diferente al de albergar el instrumento. Cuando se utilice un arreglo de instrumentos, los espacios que alberguen los diferentes instrumentos, deben disponer de una conexión entre ellos por medio de un tubo de PVC de diámetro mínimo de una pulgada (1”) para poder realizar las conexiones eléctricas entre instrumentos.

**A.11.1.5 - COSTOS** - Los diferentes costos en que se incurre en la instrumentación de una edificación se distribuyen de la siguiente manera:

- (a) **Costo de los instrumentos** - Los instrumentos serán adquiridos por la persona, natural o jurídica, a cuyo nombre se expida la licencia de construcción de la edificación, quien además debe costear su instalación. El INGEOMINAS se reserva el derecho de colocar instrumentos adicionales, a su costo, dentro de los espacios que se destinen para la instrumentación sísmica. La propiedad de los instrumentos será de quienes los adquieran. Independientemente de quien sea el propietario del instrumento, la Red Sismológica Nacional debe recibir copia de los registros obtenidos por medio de los instrumentos.
- (b) **Costo de los espacios donde se colocan los instrumentos** - El costo del espacio o espacios donde se colocan los instrumentos será de cargo de los propietarios de la edificación. El propietario, o propietarios, de la edificación darán libre acceso a estos espacios a los funcionarios del INGEOMINAS, o a quienes ellos deleguen, para efectos de instalación, mantenimiento y retiro de los registros del instrumento. Cuando se trate de una copropiedad, en el reglamento de copropiedad deben incluirse cláusulas al respecto.
- (c) **Costo del mantenimiento de los instrumentos** - El costo de mantenimiento de los instrumentos correrá por cuenta del propietario o propietarios de la edificación. Esta obligación debe quedar incluida en el reglamento de copropiedad. Quien preste el mantenimiento debe ser aprobado por el INGEOMINAS. El mantenimiento debe realizarse con la frecuencia que requiera el fabricante del instrumento; no obstante, esta debe realizarse con una periodicidad no mayor de un año.
- (d) **Costo de la vigilancia del instrumento** - Los costos de vigilancia de los instrumentos correrán por cuenta de los propietarios de la edificación donde se encuentren localizados, sean éstos de su propiedad o no. Los propietarios son responsables del instrumento para efectos de su seguridad, y deben adquirir y mantener una póliza de seguros, la cual debe cubrir el costo de reposición del instrumento en caso de hurto, sustracción u otra eventualidad.

## A.11.2 - COLOCACION DE INSTRUMENTOS SISMICOS

Dentro de las construcciones que se adelanten en el territorio nacional, cubiertas por el alcance del presente Reglamento, deben colocarse instrumentos sísmicos en los siguientes casos:

**A.11.2.1 - ZONAS DE AMENAZA SISMICA ALTA** - En las siguientes edificaciones, localizadas en zonas de amenaza sísmica alta deben colocarse instrumentos sísmicos:

- (a) En toda edificación con un área construida de más de 20 000 m<sup>2</sup> y que tenga entre 3 y 10 pisos debe colocarse un instrumento sísmico como mínimo. El espacio para su colocación será colindante con el sistema estructural y debe localizarse en el nivel inferior de la edificación.
- (b) En toda edificación con un área construida de más de 20 000 m<sup>2</sup> que tenga entre 11 y 20 pisos, deben colocarse al menos 2 instrumentos sísmicos, en espacios colindantes con el sistema estructural, localizados, uno en el nivel inferior y otro cerca a la cubierta. En este caso el instrumento localizado cerca de la cubierta puede tener solo dos sensores horizontales ortogonales.
- (c) En toda edificación de más de 21 pisos, independientemente del área construida, deben colocarse 3 instrumentos, en espacios colindantes con el sistema estructural. Uno en el nivel inferior, uno a mitad de la altura y otro en inmediaciones de la cubierta. Los instrumentos deben conformar un arreglo. Alternativamente al arreglo de tres instrumentos, se puede realizar la instalación de tres sensores de aceleración, uno triaxial y dos biaxiales como indica A.11.1.3(a), conectados a un sistema central de captura de datos.
- (d) En todo conjunto habitacional que tenga más de 200 unidades de vivienda, que no sean de interés social, se debe colocar un instrumento de campo abierto.

**A.11.2.2 - ZONAS DE AMENAZA SISMICA INTERMEDIA** - En las siguientes edificaciones, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia deben colocarse instrumentos sísmicos:

- (a) En toda edificación con un área construida de más de 30 000 m<sup>2</sup> y que tenga entre 5 y 15 pisos debe colocarse un instrumento como mínimo. El espacio donde se coloque el instrumento será colindante con el

sistema estructural y debe localizarse en el nivel inferior de la edificación.

- (b)** En toda edificación con un área construida de más de **30 000** m<sup>2</sup> que tenga entre **16** y **25** pisos, deben colocarse al menos **2** instrumentos sísmicos, en espacios colindantes con el sistema estructural, localizados, uno en el nivel inferior y otro cerca a la cubierta.
- (c)** En toda edificación de más de **25** pisos, independientemente del área construida, deben colocarse **3** instrumentos sísmicos, en espacios colindantes con el sistema estructural. Uno en el nivel inferior, uno a mitad de la altura y otro en inmediaciones de la cubierta. Los instrumentos deben conformar un arreglo. Alternativamente al arreglo de tres instrumentos, se puede realizar la instalación de tres sensores triaxiales de aceleración, conectados a un sistema central de captura de datos.
- (d)** todo conjunto habitacional que tenga más de **300** unidades de vivienda, que no sean de interés social, debe colocarse un instrumento sísmico de campo abierto.

**A.11.2.3 - ZONAS DE AMENAZA SISMICA BAJA** - En las edificaciones localizadas en zonas de amenaza sísmica baja no hay obligación de colocar instrumentos sísmicos.

---







## CAPITULO A.12

### REQUISITOS ESPECIALES PARA EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL GRUPO DE USO IV

#### A.12.0 - NOMENCLATURA

$A_d$	= coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para el umbral de daño, dado en A.12.2.
$E_d$	= fuerzas sísmicas del umbral de daño.
$g$	= aceleración debida a la gravedad ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).
$h_{pi}$	= altura del piso $i$ , medida desde la superficie del diafragma del piso $i$ hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior, $i-1$ .
$I$	= coeficiente de importancia definido en A.2.5.2
$M$	= masa total de la edificación - $M$ se expresa en kg. Debe ser igual a la masa total de la estructura más la masa de aquellos elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos o bodegas debe incluirse además un 25 por ciento de la masa correspondiente a los elementos que causan la carga viva del piso. Capítulos A.4 y A.5.
$S$	= coeficiente de sitio dado en A.2.4.2.
$\bar{S}$	= coeficiente de sitio para ser empleado en el espectro elástico del umbral de daño ( $\bar{S} = 1.25 S$ ).
$S_{ad}$	= valor del espectro de aceleraciones del umbral de daño, para un período de vibración dado. Máxima aceleración horizontal para el umbral de daño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un período de vibración $T$ . Está definido en A.12.3.
$T$	= período de vibración del sistema elástico, en segundos.
$T_d$	= período de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro del umbral de daño, para períodos cortos y la parte descendiente del mismo. Véase A.12.3
$V_s$	= cortante sísmico en la base de la estructura, calculado por el método de la fuerza horizontal equivalente del Capítulo A.4.
$V_{sd}$	= cortante sísmico en la base, para las fuerzas sísmicas del umbral de daño. Véase A.12.4.

#### A.12.1 - GENERAL

**A.12.1.1 - PROPOSITO** - El presente Capítulo contiene los requisitos adicionales, a los contenidos en los capítulos restantes del presente Título, que se deben cumplir en el diseño y construcción sismo resistente de las edificaciones pertenecientes al grupo de uso **IV**, definido en A.2.5.1.1, con el fin de garantizar que puedan operar durante y después de la ocurrencia de un temblor.

**A.12.1.2 - ALCANCE** - Los requisitos del presente Capítulo deben emplearse en el diseño de las edificaciones indispensables enumeradas en A.2.5.1.1 y de las demás que la comunidad designe como tales.

**A.12.1.3 - METODOLOGIA** - La determinación de la operatividad de la edificación con posterioridad a la ocurrencia de un sismo se realiza verificando que la edificación se mantiene dentro del rango elástico de respuesta al verse sometida a unas sollicitaciones sísmicas correspondientes al inicio del daño, o umbral de daño.

**A.12.1.4 - PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN** - Además de los pasos que deben cumplirse en el diseño de la edificación presentados en A.1.3.2, deben realizarse los siguientes pasos adicionales, con el fin de verificar que la estructura y los elementos no estructurales se mantienen dentro del rango elástico de respuesta cuando se presenten los movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño:

**Paso A - Movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño** - Determinación de los movimientos sísmicos del umbral de daño para el lugar, de acuerdo con lo establecido en A.12.2.

**Paso B - Fuerzas sísmicas correspondientes al umbral de daño** - Obtención de las fuerzas sísmicas del umbral de daño bajo las cuales debe verificarse el comportamiento de la estructura de la edificación como de los elementos no estructurales.

**Paso C - Análisis de la estructura para las fuerzas sísmicas correspondientes al umbral de daño** - El análisis de la estructura por medio de un modelo matemático apropiado. El análisis se lleva a cabo aplicando los movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño, tal como se define en A.12.4. Deben determinarse los desplazamientos máximos que imponen los movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño a la estructura y las fuerzas internas que se derivan de ellos.

**Paso D - Verificación para el umbral de daño** - Comprobación de que las deflexiones para el umbral de daño no exceden los límites establecidos por este Reglamento. Si se exceden los límites de las derivas máximas para el umbral de daño, establecidas en A.12.5, la estructura debe ser rigidizada hasta cuando cumpla la comprobación.

## A.12.2 - MOVIMIENTOS SISMICOS DEL UMBRAL DE DAÑO

**A.12.2.1** - Los movimientos sísmicos del umbral de daño, se definen para una probabilidad del ochenta por ciento de ser excedidos en un lapso de quince años, en función de la aceleración pico efectiva al nivel del umbral de daño, representada por el parámetro  $A_d$ . El valor de este coeficiente, para efectos del presente Reglamento, deben determinarse de acuerdo con A.12.2.2 y A.12.2.3.

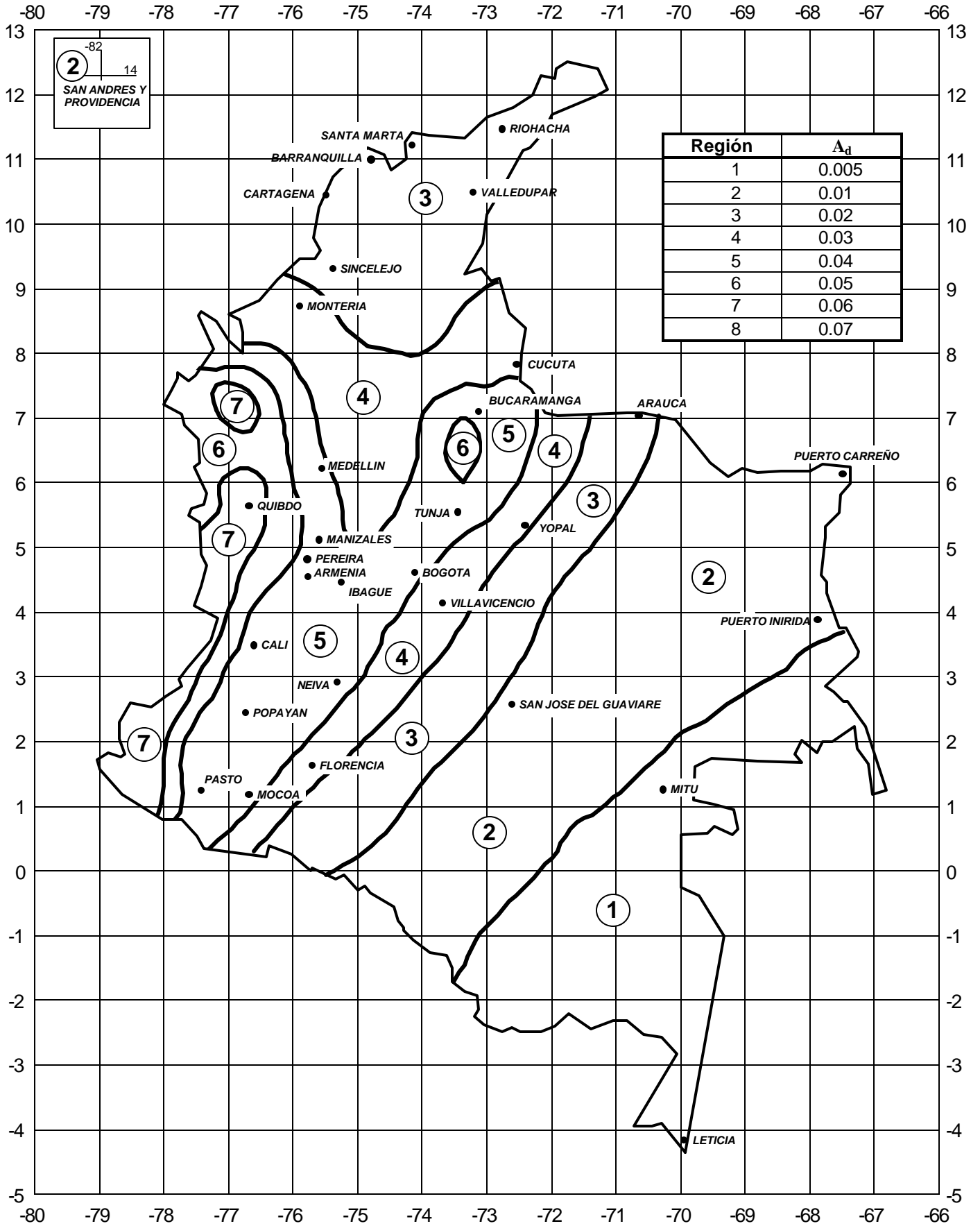
**A.12.2.2** - Se determina el número de la región en donde está localizada la edificación usando el Mapa de la figura A.12-1. El valor de  $A_d$  se obtiene de la tabla A.12-1, en función del número de la región, o para las ciudades capitales de departamento utilizando la tabla A.12-2 y para los municipios del país en el Apéndice A-3, incluido al final del presente Título.

**TABLA A.12-1  
VALORES DE  $A_d$  SEGUN LA REGION  
DEL MAPA DE LA FIGURA A.12-1**

Región N°	$A_d$
8	0.07
7	0.06
6	0.05
5	0.04
4	0.03
3	0.02
2	0.01
1	0.005

**Tabla A.12-2  
VALORES DE  $A_d$  PARA LAS CIUDADES CAPITALES DE DEPARTAMENTO**

Ciudad	$A_d$	Ciudad	$A_d$
Arauca	0.02	Neiva	0.04
Armenia	0.04	Pasto	0.04
Barranquilla	0.02	Pereira	0.04
Bogotá	0.04	Popayán	0.04
Bucaramanga	0.04	Puerto Carreño	0.01
Cali	0.04	Puerto Inírida	0.01
Cartagena	0.02	Quibdó	0.06
Cúcuta	0.03	Riohacha	0.02
Florencia	0.03	San Andrés, Isla	0.01
Ibagué	0.04	San José del Guaviare	0.01
Leticia	0.005	Santa Marta	0.02
Manizales	0.04	Sincelejo	0.02
Medellín	0.04	Tunja	0.04
Mitú	0.005	Valledupar	0.02
Mocoa	0.04	Villavicencio	0.03
Montería	0.03	Yopal	0.03



MAPA DE VALORES DE  $A_d$   
Figura A.12-1

**A.12.2.3** – Alternativamente cuando el municipio o distrito, realice un estudio de microzonificación sísmica, o disponga de una red acelerográfica local; con base en el estudio de microzonificación o en los registros obtenidos, es posible variar, por medio de una ordenanza municipal, el valor de  $A_d$ , con respecto a los valores dados aquí, pero en ningún caso este valor podrá ser menor al dado en el presente Reglamento.

### A.12.3 - ESPECTRO DEL UMBRAL DE DAÑO

**A.12.3.1** - La forma del espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de dos por ciento (2%), que se debe utilizar en las verificaciones del umbral de daño, se da en la figura A.12-2 y se define por medio de la ecuación A.12-1, en la cual el valor  $T$  es el mismo que se utilizó para obtener el espectro de diseño de la edificación en el Capítulo A.2 y el valor de  $\bar{S}$  es igual a  $1.25 S$ , siendo  $S$  el valor del coeficiente de sitio que se obtiene de acuerdo con la sección A.2.4. Además deben cumplirse las limitaciones dadas en A.12.3.2 a A.12.3.3.

$$S_{ad} = \frac{1.5 A_d \bar{S}}{T} \quad (\text{A.12-1})$$

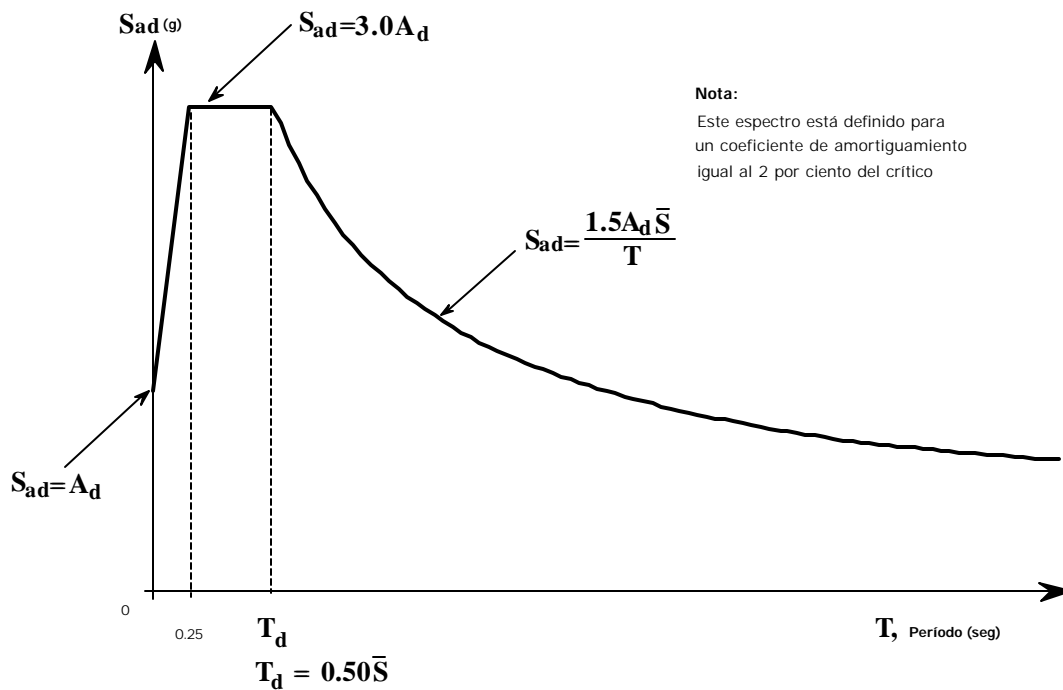


Figura A.12-2 - Espectro elástico del umbral de daño

**A.12.3.2** - Para períodos de vibración menores de 0.25 segundos, el espectro del umbral de daño puede obtenerse de la ecuación A.12-2.

$$S_{ad} = A_d (1.0 + 8T) \quad (\text{A.12-2})$$

**A.12.3.3** - Para períodos de vibración mayores de 0.25 segundos y menores de  $T_d$ , calculado de acuerdo con la ecuación A.12-3, el valor de  $S_{ad}$  puede limitarse al obtenido de la ecuación A.12-4.

$$T_d = 0.5 \bar{S} \quad (\text{A.12-3})$$

y

$$S_{ad} = 3.0 A_d \quad (\text{A.12-4})$$

**A.12.3.4** – Alternativamente pueden emplearse los requisitos del Apéndice H-1 para la determinación de la forma del espectro, substituyendo allí el valor de  $A_a$  por el de  $A_d$ , sin emplear el límite dado por la ecuación H-1-5, y multiplicando las ordenadas espectrales dadas allí por un coeficiente igual a 1.4, para tomar en cuenta que el nivel de amortiguamiento esperado es del 2% del crítico.

## A.12.4 - METODOLOGIA DE ANALISIS

**A.12.4.1 - METODO DE ANALISIS A UTILIZAR** - En la verificación de la respuesta de la estructura a los movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño, como mínimo debe emplearse el método de la fuerza horizontal equivalente dado en el Capítulo A.4, aunque se permite el uso del método del análisis dinámico, prescrito en el Capítulo A.5.

**A.12.4.2 - RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA Y SUS ELEMENTOS** - Las rigideces que se empleen en el análisis estructural para verificación del umbral de daño deben ser compatibles con las fuerzas y deformaciones que le imponen los movimientos sísmicos correspondientes a la estructura. Al nivel de deformaciones del umbral de daño se considera que la estructura responde en el rango lineal y elástico de comportamiento y que los elementos no estructurales pueden contribuir a la rigidez de la estructura, si no están aislados de ella. Cuando los elementos no estructurales interactúan con la estructura al nivel de deformaciones del umbral de daño, debe tenerse en cuenta esta interacción, tanto en la estructura como en los elementos no estructurales.

**A.12.4.3. - USO DEL METODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE EN LA EVALUACION DEL UMBRAL DE DAÑO** - Cuando se utilice el método de la fuerza horizontal equivalente en el análisis de la estructura para los movimientos sísmicos del umbral de daño deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

**A.12.4.3.1 - Período fundamental de la edificación** - Puede utilizarse el período de vibración fundamental determinado de acuerdo con los requisitos de A.4.2.

**A.12.4.3.2 - Fuerzas sísmicas horizontales del umbral de daño** – Las fuerzas sísmicas correspondientes a los movimientos sísmicos del umbral de daño corresponden a la distribución en la altura de la edificación del cortante sísmico en la base,  $V_{sd}$ . Este cortante sísmico en la base es equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos del umbral de daño, en la dirección en estudio, y se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{sd} = S_{ad} g M \quad (A.12-5)$$

El valor de  $S_{ad}$  en la ecuación anterior corresponde al valor de la aceleración leída en el espectro definido en A.12.3 para el período  $T$  de la edificación. La fuerza sísmica horizontal del umbral de daño en cualquier nivel puede obtenerse de las ecuaciones A.4-6 y A.4-7, utilizando  $V_{sd}$  en vez de  $V_s$ .

**A.12.4.3.3 - Análisis de la estructura para las fuerzas sísmicas horizontales del umbral de daño** – Por medio de un análisis estructural realizado empleando las fuerzas sísmicas correspondientes al umbral de daño obtenidas como se indica en A.12.4.3.2, se obtienen las fuerzas internas del umbral de daño,  $E_d$ . Deben utilizarse los requisitos de A.4.4.1 con la excepción del literal (f). En las estructuras de concreto reforzado y mampostería estructural, el grado de fisuración debe ser compatible con las fuerzas sísmicas del umbral de daño, tomando en cuenta que la estructura actúa dentro del rango lineal de respuesta. Como resultados del análisis se deben obtener los desplazamientos horizontales de la estructura, incluyendo los efectos torsionales, los cuales se emplean para evaluar el cumplimiento de los requisitos de deriva para el umbral de daño. Si los elementos no estructurales fueron incluidos en el análisis deben determinarse sus deformaciones y esfuerzos.

**A.12.4.4. - USO DEL METODO DE ANALISIS DINAMICO EN LA EVALUACION DEL UMBRAL DE DAÑO** - Cuando se utilice el método del análisis dinámico deben emplearse los requisitos del Capítulo A.5, empleando los movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño en vez de los movimientos sísmicos de diseño. El ajuste de los resultados indicado en A.5.4.5 debe hacerse con respecto al valor de  $V_{sd}$ , obtenido por medio de la ecuación A.12-5, en vez de  $V_s$ .

## A.12.5 - REQUISITOS DE LA DERIVA PARA EL UMBRAL DE DAÑO

**A.12.5.1 - DESPLAZAMIENTOS TOTALES HORIZONTALES PARA EL UMBRAL DE DAÑO** - Los desplazamientos horizontales, en las dos direcciones principales en planta, que tienen todos los grados de libertad de la estructura al verse afectada por los movimientos sísmicos para el umbral de daño, definidos en A.12.2, se determinan por medio del análisis estructural realizado utilizando el método de análisis definido en A.12.4 y con las rigideces indicadas en A.12.4.2. Los desplazamientos horizontales para el umbral de daño, en cualquiera de las direcciones principales en planta y para cualquier grado de libertad de la estructura, se obtienen por medio de la ecuación A.6-1, con la excepción de que no hay necesidad de incluir los desplazamientos causados por los efectos P-Delta.

**A.12.5.2 - DERIVA MAXIMA PARA EL UMBRAL DE DAÑO** - La deriva máxima, para el umbral de daño, en cualquier punto del piso bajo estudio se obtiene por medio de la ecuación A.6-5.

**A.12.5.3 - LIMITES DE LA DERIVA PARA EL UMBRAL DE DAÑO** - La deriva máxima, para el umbral de daño, evaluada en cualquier punto de la estructura, determinada de acuerdo con el procedimiento de A.12.5.2, no puede exceder los límites establecidos en la tabla A.12-3, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso  $h_{pi}$ :

**Tabla A.12-3**  
**DERIVAS MAXIMAS PARA EL UMBRAL DE DAÑO COMO PORCENTAJE DE  $h_{pi}$**

<b>Estructuras de:</b>	<b>Deriva máxima</b>
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.12.5.3.1	<b>0.30% (<math>D_{max}^i \leq 0.0030h_{pi}</math>)</b>
de mampostería que cumplen los requisitos de A.12.5.3.2	<b>0.15% (<math>D_{max}^i \leq 0.0015h_{pi}</math>)</b>

**A.12.5.3.1** – Se permite emplear el límite de deriva máxima permisible de **0.0030  $h_{pi}$**  en edificaciones construidas con mampostería estructural cuando éstas estén compuestas por muros cuyo modo prevaleciente de falla sea la flexión ante fuerzas paralelas al plano del muro, diseñados esencialmente como elementos verticales esbeltos que actúan como voladizos apoyados en su base o cimentación y que se construyen de tal manera que la transferencia de momento entre muros a través de los elementos horizontales de acople en los diafragmas de entrepiso, ya sean losas, vigas de enlace, antepechos o dinteles, sea despreciable.

**A.12.5.3.2** – Cuando se trate de muros de mampostería poco esbeltos o cuyo modo prevaleciente de falla sea causado por esfuerzos cortantes, debe emplearse el límite de deriva máxima permisible de **0.0015  $h_{pi}$** .

## **A.12.6 - VERIFICACION DE ESFUERZOS**

**A.12.6.1 - ELEMENTOS ESTRUCTURALES** - No hay necesidad de verificar los elementos estructurales para los esfuerzos generados por el sismo del umbral de daño.

**A.12.6.2 - MUROS NO ESTRUCTURALES** - No hay necesidad de verificar los elementos no estructurales para los esfuerzos generados por el sismo del umbral de daño.



## CAPITULO A.13

### DEFINICIONES Y NOMENCLATURA DEL TITULO A

#### A.13.1 - DEFINICIONES

Las definiciones siguientes corresponden al Título A de este Reglamento:

**Acabados** - Partes y componentes de una edificación que no hacen parte de la estructura o de su cimentación. Véase elementos no estructurales

**Aceleración pico efectiva** -  $A_a$  - Es un parámetro utilizado para determinar el espectro de diseño y se da en A.2.2.

**Acelerograma** - Descripción en el tiempo de las aceleraciones a que estuvo sometido el terreno durante la ocurrencia de un sismo real.

**Acelerógrafo** - Instrumento que permite registrar las aceleraciones a que se ve sometido el terreno durante la ocurrencia de un sismo. Este registro queda consignado en un acelerograma.

**Amenaza sísmica** - Es el valor esperado de futuras acciones sísmicas en el sitio de interés y se cuantifica en términos de una aceleración horizontal del terreno efectiva, que tiene una probabilidad de excedencia dada en un lapso de tiempo predeterminado.

**Amortiguamiento** - Pérdida de energía en un movimiento ondulatorio.

**Amplificación de la onda sísmica** - Aumento en la amplitud de las ondas sísmicas, producido por su paso desde la roca hasta la superficie del terreno a través de los estratos de suelo.

**Análisis dinámico** - Procedimiento matemático por medio del cual se resuelven las ecuaciones de equilibrio dinámico, con el fin de obtener las deformaciones y esfuerzos de la estructura al ser sometida a una excitación que varía en el tiempo.

**Análisis dinámico elástico** - Tipo de análisis dinámico en el cual las propiedades de rigidez y resistencia de la estructura permanecen dentro del rango de respuesta lineal.

**Análisis dinámico inelástico** - Tipo de análisis dinámico en el cual se tiene en cuenta que las propiedades de rigidez y resistencia de la estructura pueden salirse del rango de respuesta lineal y entrar en el rango de respuesta inelástica.

**Análisis espectral** - Tipo de análisis dinámico modal en el cual la respuesta dinámica máxima de cada modo se obtiene utilizando la ordenada del espectro, correspondiente al período de vibración del modo.

**Análisis modal** - Procedimiento de análisis dinámico por medio del cual la respuesta dinámica de la estructura se obtiene como la superposición de las respuestas de los diferentes modos, o formas de vibración.

**Apéndice** - Es un elemento no estructural que sobresale del volumen general de la edificación.

**Armadura** - Véase cercha.

**Base** - Es el nivel en el que los movimientos sísmicos son transmitidos a la estructura o el nivel en el que la estructura, considerada como un oscilador, esta apoyada.

**Capacidad de disipación de energía** - Es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural, o una sección de un elemento estructural, de trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia. Se cuantifica por medio de la energía de deformación que el sistema, elemento o sección es capaz de disipar en ciclos histeréticos consecutivos. Cuando hace referencia al sistema de resistencia sísmica de la edificación como un todo, se define por medio del coeficiente de capacidad de disipación de energía básico  $R_0$ , el cual después se afecta debido a irregularidades de la estructura, para obtener el coeficiente de disipación de energía  $R$  ( $R = f_a f_p R_0$ ). El grado de capacidad de disipación de energía se clasifica como especial (DES), moderado (DMO) y mínimo (DMI).

**Capacidad de rotación de la sección** - Es la capacidad que tiene una sección de un elemento estructural de admitir rotaciones en el rango inelástico sin perder su capacidad de resistir momentos flectores y fuerzas cortantes. Se mide en términos de su capacidad de disipación de energía a la rotación

**Carga muerta** - Es la carga vertical debida a los efectos gravitacionales de la masa, o peso, de todos los elementos permanentes ya sean estructurales o no estructurales. Debe consultarse el Título B de este Reglamento.

**Carga gravitacional o peso,  $(M \cdot g)$**  - Es el efecto vertical de la aceleración debida a la gravedad sobre la masa,  $M$ , de la edificación.  $M$  debe ser igual a la masa de la estructura más la masa de los elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos y bodegas debe incluirse además un 25 por ciento de la masa que produce la carga viva.

**Carga viva** - Es la carga debida al uso de la estructura, sin incluir la carga muerta, fuerza de viento o sismo. Debe consultarse el Título B de este Reglamento.

**Casa** - Edificación unifamiliar destinada a vivienda. Esta definición se incluye únicamente para efectos de la aplicación del Título E del Reglamento.

**Centro de masa del piso** - Es el lugar geométrico donde estaría localizada, en planta, toda la masa del piso al suponer el diafragma del piso como un cuerpo infinitamente rígido en su propio plano.

**Centro de rigidez del piso** - Es el lugar geométrico, localizado en planta y determinado bajo el supuesto de que el diafragma del piso es infinitamente rígido en su propio plano, donde al aplicar una fuerza horizontal, en cualquier dirección, no se presenta rotación del diafragma alrededor de un eje vertical.

**Cercha** - Es un conjunto de elementos estructurales unidos entre si, los cuales resisten primordialmente fuerzas axiales.

**Coefficiente de amortiguamiento crítico** - Es, para un sistema elástico, de un grado de libertad con amortiguamiento viscoso, el cociente entre la cantidad de amortiguamiento del sistema y el amortiguamiento mínimo que inhibe toda oscilación.

**Coefficiente de capacidad de disipación de energía básico,  $R_0$**  - Coeficiente que se prescribe para cada sistema estructural de resistencia sísmica, cuyo valor depende del tipo de sistema estructural y de las características de capacidad de disipación de energía propias del material estructural que se utiliza en el sistema. Es una medida de la capacidad de disipación de energía general del sistema de resistencia sísmica cuando los movimientos sísmicos hacen que responda inelásticamente.

**Coefficiente de capacidad de disipación de energía,  $R$**  - Coeficiente que corresponde al coeficiente de capacidad de disipación de energía básico,  $R_0$ , multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación debido a irregularidades en alzado,  $f_a$ , y en planta,  $f_p$ . ( $R = f_a f_p R_0$ ).

**Construcción sismo resistente** - Es el tipo de construcción que cumple el objetivo expresado en A.1.1.2, a través de un diseño y una construcción que cumplan los requisitos de la Ley 400 de 1997 y del presente Reglamento.

**Constructor** - Es el profesional, ingeniero civil o arquitecto, bajo cuya responsabilidad se adelanta la construcción de la edificación.

**Cortante de piso,  $V_x$**  - Es la suma algebraica de las fuerzas sísmicas horizontales que actúan por encima del piso en consideración.

**Cortante en la base,  $V_s$**  - Es la suma algebraica, tomada en la base, de todas las fuerzas sísmicas horizontales del edificio.

**Cuerda** - Es el elemento de borde de un diafragma, el cual resiste principalmente esfuerzos axiales, en una forma análoga a las aletas de una viga.

**Deriva de piso** - Es la diferencia entre los desplazamientos horizontales de los niveles entre los cuales esta comprendido el piso.



**Desempeño de los elementos no estructurales** - Se denomina desempeño el comportamiento de los elementos no estructurales de la edificación ante la ocurrencia de un sismo que la afecte. El desempeño se clasifica en grado superior, bueno y bajo.

- (a) **Grado de desempeño superior** - Es aquel en el cual el daño que se presenta en los elementos no estructurales es mínimo y no interfiere con la operación de la edificación en ningún aspecto.
- (b) **Grado de desempeño bueno** - Es aquel en el cual el daño que se presenta en los elementos no estructurales es totalmente reparable y puede haber alguna interferencia con la operación de la edificación con posterioridad a la ocurrencia del sismo.
- (c) **Grado de desempeño bajo** - Es aquel en el cual se presentan daños graves en los elementos no estructurales, inclusive no reparables.

**DES** - Capacidad especial de disipación de energía.

**Diafragma** - Conjunto de elementos estructurales, tal como una losa de entrepiso, que transmite la fuerzas inerciales horizontales a los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica. El término diafragma incluye conjuntos arriostrados horizontales. Véase sistema de arriostramiento horizontal.

**Diagonal** - Es un elemento estructural que hace parte de un pórtico con diagonales. La diagonal puede ser concéntrica, en pórticos con diagonales de concreto reforzado o de acero estructural, o excéntrica en pórticos de acero estructural.

**Diagonal concéntrica** - Es una diagonal cuyos dos extremos llegan a conexiones entre viga y columna.

**Diagonal excéntrica** - Es una diagonal en la cual uno de sus extremos llega a la viga en un punto alejado de la conexión entre viga y columna. Solo se utiliza en pórticos de acero estructural con diagonales.

**Diseñador arquitectónico** - Es el arquitecto bajo cuya responsabilidad se realizan el diseño y los planos arquitectónicos de la edificación, y quien los firma o rotula.

**Diseñador de los elementos no estructurales** - Es el profesional facultado para este fin, bajo cuya responsabilidad se realizan el diseño y los planos de los elementos no estructurales de la edificación, y quien los firma o rotula.

**Diseñador estructural** - Es el ingeniero civil, facultado para ese fin, bajo cuya responsabilidad se realiza el diseño y los planos estructurales de la edificación, y quien los firma o rotula.

**DMO** - Capacidad moderada de disipación de energía.

**DMI** - Capacidad mínima de disipación de energía.

**Ductilidad** - Capacidad que tiene un material estructural de resistir, sin fallar, deformaciones que lleven al material estructural más allá del límite elástico, o límite donde las deformaciones son linealmente proporcionales al esfuerzo o fuerza aplicada. (Véase capacidad de disipación de energía, pues muchas veces estos términos son confundidos.) Dependiendo del parámetro que describe las deformaciones, la ductilidad puede hacer referencia, entre otras, a:

- (a) **ductilidad de curvatura** - cuando la ductilidad se mide con respecto a la curvatura de la sección del elemento estructural. La curvatura se define como el cociente entre el momento flector aplicado y la rigidez de la sección,
- (b) **ductilidad de rotación** - cuando la ductilidad se mide con respecto a la rotación que tiene un sector longitudinal del elemento estructural. La rotación se define como la pendiente de la línea elástica del elemento medida con respecto a la posición original del eje longitudinal del elemento,
- (c) **ductilidad de desplazamiento** - cuando la ductilidad se mide con respecto al desplazamiento o deflexión que tiene el elemento estructural. El desplazamiento se mide con respecto a la posición original del eje longitudinal del elemento, y
- (d) **ductilidad de deformación** - cuando la ductilidad se mide con respecto a la deformación unitaria de una fibra paralela al eje neutro de la sección.

**Edificación** - Es una construcción cuyo uso primordial es la habitación u ocupación por seres humanos.

**Edificación de atención a la comunidad** – Son los equipamientos urbanos necesarios para atender emergencias, preservar la salud y la seguridad de las personas, tales como estaciones de bomberos, cuarteles de policía y fuerzas militares, instalaciones de salud, sedes de organismos operativos de emergencias, entre otros.

**Edificaciones indispensables** – Son aquellos equipamientos urbanos de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alternativo, tales como hospitales de niveles de complejidad 2 y 3, y centrales de operación y control de líneas vitales.

**Efectos gravitacionales** – Véase peso.

**Elemento o miembro estructural** - Componente del sistema estructural de la edificación. En las estructuras metálicas los dos términos no son sinónimos pues un miembro está compuesto por elementos. Por ejemplo en una viga con sección en I, la viga en sí es el miembro estructural, y su alma y alas son elementos del miembro.

**Elemento colector** - Es un elemento que sirve para transmitir las fuerzas inerciales generadas dentro del diafragma, hasta los elementos del sistema de resistencia sísmica.

**Elemento de borde** - Es un elemento que se coloca en los bordes de las aberturas, en el perímetro de los muros de cortante o en el perímetro de los diafragmas.

**Elementos flexibles (o sistemas flexibles)** - Son aquellos cuya deformación, al ser solicitados por una fuerza horizontal, es significativamente mayor que la de los elementos adyacentes del sistema.

**Elementos no estructurales** - Elementos o componentes de la edificación que no hacen parte de la estructura o su cimentación. Véase acabados.

**Efectos ortogonales** - Son los que se producen en los elementos estructurales que pertenecen, simultáneamente, a sistemas resistentes situados en dos ejes ortogonales, cuando las fuerzas sísmicas actúan en una dirección distinta a la de estos dos ejes.

**Efectos PDelta** - Son los efectos de segundo orden en los desplazamientos horizontales y fuerzas internas de la estructura, causados por la acción de las cargas verticales de la edificación al verse desplazadas horizontalmente.

**Espectro** - Es la colección de valores máximos, ya sea de aceleración, velocidad o desplazamiento, que tienen los sistemas de un grado de libertad durante un sismo.

**Espectro de diseño** - Es el espectro correspondiente a los movimientos sísmicos de diseño.

**Espectro del umbral de daño** - Es el espectro correspondiente a los movimientos sísmicos al nivel del umbral de daño.

**Estructura** - Es un ensamblaje de elementos, diseñado para soportar las cargas gravitacionales y resistir las fuerzas horizontales. Las estructuras pueden ser catalogadas como estructuras de edificaciones o estructuras diferentes a las de las edificaciones.

**Falla geológica** - Ruptura, o zona de ruptura, en la roca de la corteza terrestre cuyos lados han tenido movimientos paralelos al plano de ruptura.

**Falla geológica activa** - Falla geológica que se considera que es capaz de producir movimientos sísmicos.

**Fuerzas mayoradas** - Son las fuerzas que han sido multiplicadas por sus respectivos coeficientes de carga, tal como los define B.2.1 de este Reglamento.

**Fuerzas sísmicas** - Son los efectos inerciales causados por la aceleración del sismo, expresados como fuerzas para ser utilizadas en el análisis y diseño de la estructura.

**Grupo de uso** - Clasificación de las edificaciones según su importancia para la atención y recuperación de las personas que habitan en una región que puede ser afectada por un sismo, o cualquier tipo de desastre.

**Histéresis** - Fenómeno por medio del cual dos, o más, propiedades físicas se relacionan de una manera que depende de la historia de su comportamiento previo. En general hace referencia al comportamiento de los materiales

estructurales cuando se ven sometidos a deformaciones o esfuerzos que están fuera del rango lineal, o elástico, de comportamiento. Una gran parte de la energía que es capaz de disipar el material estructural en el rango inelástico de respuesta se asocia con el área comprendida dentro de los ciclos de histéresis.

**Índice de deriva** - Es la deriva del piso dividida por la altura del mismo.

**Ingeniero geotecnista** - Es el ingeniero civil, quien firma el estudio geotécnico, bajo cuya responsabilidad se realizan los estudios geotécnicos o de suelos, por medio de los cuales se fijan los parámetros de diseño de la cimentación, los efectos de amplificación de la onda sísmica causados por el tipo y estratificación del suelo subyacente a la edificación, y la definición de los parámetros del suelo que se deben utilizar en la evaluación de los efectos de interacción suelo-estructura.

**Instalaciones indispensables** – Véase edificaciones indispensables.

**Interacción suelo-estructura** - Es el efecto que tienen en la respuesta estática y dinámica de la estructura las propiedades de rigidez del suelo que da apoyo a la edificación, en conjunto con las propiedades de rigidez de la cimentación y de la estructura.

**Interventor** - Es el profesional, ingeniero civil o arquitecto, que representa al propietario durante la construcción de la edificación y bajo cuya responsabilidad se verifica que ésta se adelante de acuerdo con todas las reglamentaciones correspondientes y siguiendo los planos, diseños y especificaciones realizados por los diseñadores. Véase supervisión técnica.

**Licencia de construcción** – Acto por medio del cual se autoriza, a solicitud del interesado, la realización de obras en un predio con construcciones, cualquiera que ellas sean, acordes con el plan de ordenamiento territorial y las normas urbanísticas del distrito o municipio.

**Licuación** - Respuesta de los suelos sometidos a vibraciones, en la cual éstos se comportan como un fluido denso y no como una masa de suelo húmeda.

**Líneas vitales** – Infraestructura básica de redes, tuberías o elementos conectados o continuos, que permite la movilización de energía eléctrica, aguas, combustibles, información y el transporte de personas o productos, esencial para realizar con eficiencia y calidad las actividades de la sociedad.

**Mampostería estructural** - Véanse las Definiciones en el Título D de éste Reglamento.

**Masa** – Cantidad de materia que posee un cuerpo. En el Sistema Internacional de Medidas (SI) se expresa en kilogramos, kg.

**Método de la fuerza horizontal equivalente** - Es el método de análisis sísmico en el cual los efectos de los movimientos sísmicos de diseño se expresan por medio de unas fuerzas horizontales estáticas equivalentes.

**Método del análisis dinámico elástico** - Es el método de análisis sísmico en el cual los efectos de los movimientos sísmicos de diseño se determinan por medio de la solución de las ecuaciones de equilibrio dinámico, considerando que las propiedades de rigidez de la estructura permanecen dentro del rango de respuesta lineal o elástica.

**Método del análisis dinámico inelástico** - Es el método de análisis sísmico en el cual los efectos de los movimientos sísmicos de diseño se determinan por medio de la solución de las ecuaciones de equilibrio dinámico, considerando que las propiedades de rigidez de la estructura se salen del rango de respuesta lineal o elástica.

**Microzonificación sísmica** - División de una región o de un área urbana, en zonas más pequeñas que presentan un cierto grado de similitud en la forma como se ven afectados los movimientos sísmicos, dadas las características de los estratos de suelo subyacente.

**Modos de vibración** - Son las diferentes formas de vibración propias de la estructura. A cada modo de vibración corresponde una frecuencia de vibración propia. La respuesta dinámica de la estructura, en el rango elástico, se puede expresar como la superposición de los efectos de los diferentes modos. Una estructura tiene tantos modos de vibración, como grados de libertad tenga.

**Modo fundamental** - Es el modo de vibración correspondiente al período fundamental de la estructura en la dirección horizontal de interés.

**Movimientos sísmicos de diseño** - Es una caracterización de los movimientos del terreno, en el sitio donde se encuentra localizada la edificación, que se producirían como consecuencia de la ocurrencia del sismo de diseño.

**Movimientos sísmicos para el umbral de daño** - Es una caracterización de los movimientos del terreno, en el sitio donde se encuentra localizada la edificación, que se producirían como consecuencia de la ocurrencia del sismo correspondiente al umbral de daño.

**Movimiento telúrico** – Movimiento de la corteza terrestre. Véase sismo.

**Muro de carga** - Es un muro estructural, continuo hasta la cimentación, que soporta principalmente cargas verticales.

**Muro de cortante** - Véase muro estructural.

**Muro divisorio o partición** - Es un muro que no cumple una función estructural y que se utiliza para dividir espacios.

**Muro estructural** - Es un muro, de carga o no, que se diseña para resistir fuerzas horizontales, de sismo o de viento, paralelas al plano del muro.

**Muro no estructural** - Véase muro divisorio.

**Perfil de suelo** - Son los diferentes estratos de suelo existentes debajo del sitio de la edificación.

**Período de vibración, T** - Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que éste se repita.

**Período de vibración fundamental** - Es el mayor período de vibración de la estructura en la dirección horizontal de interés.

**Peso** – Efecto gravitacional sobre la masa. Se obtiene de multiplicar la masa en kg, por la aceleración debida a la gravedad,  $g$  ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ). Se expresa en newtons, N ( $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$ ).

**Piso** - Es el espacio comprendido entre dos niveles de una edificación. Piso  $x$  es el piso que está debajo del nivel  $x$ .

**Piso flexible** - Es aquel en el cual la rigidez ante fuerzas horizontales, del sistema de resistencia sísmica, es menor que el 70% de la rigidez ante fuerzas horizontales, del sistema de resistencia sísmica, del piso inmediatamente superior.

**Piso débil** - Es aquel en el cual la resistencia ante fuerzas horizontales, del sistema de resistencia sísmica, del piso es menor que el 70% de la resistencia ante fuerzas horizontales, del sistema de resistencia sísmica, del piso inmediatamente superior.

**Pórtico** - Es un conjunto de vigas, columnas y, en algunos casos, diagonales, todos ellos interconectados entre si por medio de conexiones o nudos que pueden ser, o no, capaces de transmitir momentos flectores de un elemento a otro. Dependiendo de sus características tiene las siguientes denominaciones:

**Pórtico arriostrado** - Véase la definición de pórtico con diagonales.

**Pórtico con diagonales** - Pórtico compuesto por vigas, columnas y diagonales excéntricas, o concéntricas, que se utiliza primordialmente para resistir fuerzas horizontales. Sus elementos trabajan principalmente deformándose axialmente, como en una cercha. Sus nudos pueden, o no, ser capaces de transmitir momentos flectores, dependiendo del material estructural que se emplee.

**Pórtico con diagonales concéntricas** - Es un pórtico con diagonales en el cual éstas llegan a los nudos conformados por las conexiones entre vigas y columnas.

**Pórtico con diagonales excéntricas** - Es un pórtico, de acero estructural, con diagonales que cumple los requisitos presentados en el Capítulo F.3.

**Pórtico espacial** - Es un sistema estructural tridimensional, que no tiene muros de carga, compuesto por elementos interconectados de tal manera que el conjunto actúe como una unidad, con o sin la ayuda de diafragmas horizontales o sistemas de arriostramiento horizontal. (Véase pórtico plano).

**Pórtico losa-columna** - Es un sistema estructural tridimensional aporticado en el cual las losas cumplen la función de las vigas. Este sistema tiene numerosas restricciones impuestas por el Reglamento en su uso. Véase reticular celular

**Pórtico no arriostrado** - Es un pórtico resistente a momentos que soporta las fuerzas horizontales por medio de momentos flectores en sus elementos, y que no tiene diagonales ni muros estructurales.

**Pórtico no resistente a momentos** - Es un pórtico cuyas conexiones no son resistentes a momentos y que por lo tanto es inestable ante una sollicitación de fuerzas horizontales, a menos que la responsabilidad de la resistencia ante estas fuerzas sea atendida por diagonales dentro del mismo pórtico o por conjuntos de elemento estructurales, tales como muros estructurales o pórticos con diagonales.

**Pórtico para carga verticales** - Es un pórtico espacial diseñado para resistir únicamente cargas verticales.

**Pórtico plano** - Es un pórtico en el cual todos sus elementos están contenidos dentro de un plano vertical. Este tipo de pórticos no puede utilizarse a menos que existan elementos estructurales que restrinjan los desplazamientos en la dirección perpendicular al plano del pórtico, tales como otros pórticos o muros estructurales y que exista un diafragma que amarre horizontalmente el conjunto. (Véase A.3.1.5) Los enlaces entre pórticos planos a través de la viguetería del sistema de entrepiso no se consideran adecuados para efectos de restringir los desplazamientos en la dirección perpendicular al plano de pórtico, caso en el cual deben disponerse vigas paralelas a la viguetería que enlacen las columnas y conformen un pórtico espacial.

**Pórtico resistente a momentos** - Es un pórtico espacial en el cual sus miembros y nudos son capaces de resistir las fuerzas, principalmente, por flexión.

**Pórtico resistente a momentos, sin capacidad de disipación de energía** - Es un pórtico de concreto reforzado que no cumple con los requisitos especiales de detallado del refuerzo para lograr un comportamiento dúctil, o que no está dispuesto espacialmente y no tiene resistencia ante fuerzas horizontales en la dirección perpendicular a su propio plano.

**Pórtico resistente a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)** - Es un pórtico espacial diseñado de acuerdo con las disposiciones correspondientes del Capítulo C.21 cuando es de concreto reforzado o del Capítulo F.3 cuando es de acero estructural.

**Pórtico resistente a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)** - Es un pórtico espacial diseñado de acuerdo con las disposiciones correspondientes del Capítulo C.21 cuando es de concreto reforzado o de los Capítulos F.1 y F.2 cuando es de acero estructural.

**Pórtico resistente a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)** - Es un pórtico espacial, diseñado de acuerdo con las disposiciones correspondientes del Capítulo C.21 cuando es de concreto reforzado, o del Capítulo F.3 cuando es de acero estructural.

**Probabilidad** - Es el cociente del número de casos que realmente ocurren, dividido por el número total de casos posibles.

**Propietario** - Para efectos de este Reglamento, es la persona, natural o jurídica, titular de derechos reales principales, poseedor, propietario del derecho de dominio a título de fiducia y los fideicomitentes de las mismas fiducias, a nombre de la cual se expide la licencia de construcción.

**Resistencia** - Es la capacidad útil de una estructura, o de sus miembros, para resistir cargas, dentro de los límites de deformación establecidos en este Reglamento.

**Reticular celular** - Es un tipo de pórtico losa-columna, en el cual la losa trabaja en dos direcciones y es aligerada en las zonas lejanas de las columnas y maciza, o con capiteles, en las zonas aledañas a las columnas. Este sistema tiene numerosas restricciones impuestas por el Reglamento en su uso.

**Revisor de los diseños** – Es el ingeniero civil, diferente del diseñador e independiente laboralmente de él, que tiene la responsabilidad de revisar los diseños estructurales y estudios geotécnicos, o el arquitecto, ingeniero civil o mecánico, que revisa los diseños de elementos no estructurales; dentro del trámite de expedición de una licencia de construcción, para constatar que la edificación propuesta cumple con los requisitos exigidos por la Ley 400 de 1997 y el presente Reglamento.

**Riesgo sísmico** - Corresponde a la determinación de las consecuencias económicas y sociales, expresada en términos monetarios, o de víctimas, respectivamente, para el sitio de interés en función de su probabilidad de excedencia para un tiempo de exposición dado.

**Rigidez de piso** - Para un piso  $x$ , es el cociente entre el cortante de piso,  $V_x$ , y la deriva que éste cortante produce en el piso.

**Riostra** - Véase diagonal.

**Riostra del diafragma (riostra transmisora, amarre, elemento colector)** - Es el elemento de un diafragma, paralelo a la fuerza aplicada, que recoge y transmite el cortante del diafragma a los elementos resistentes verticales o el que distribuye las fuerzas dentro del diafragma. Estos miembros pueden estar sometidos a efectos axiales de tensión o de compresión. Véase sistemas de arriostramiento horizontal.

**Sello seco registrado** - Marca realizada que queda colocada sobre un plano de construcción y que reemplaza la firma del diseñador responsable de los diseños expresados en él. La marca que produce debe contener el nombre del profesional, su profesión (ingeniero civil, arquitecto, etc.) y el número de la matrícula profesional.

**Sismo, temblor o terremoto** - Vibraciones de la corteza terrestre inducidas por el paso de ondas sísmicas provenientes de un lugar o zona donde han ocurrido movimientos súbitos de la corteza terrestre.

**Sismo de diseño** – Es la caracterización de los movimientos sísmicos mínimos que deben utilizarse en la realización del diseño sismo resistente. Para efectos del presente Reglamento, es un sismo cuyos efectos en el lugar de interés tienen una probabilidad de sólo diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años, lo cual conduce a un período promedio de retorno de 475 años. El diseño sismo resistente tiene dentro de sus objetivos la defensa de la vida ante la ocurrencia del sismo de diseño.

**Sismo del umbral de daño** - Es un sismo cuyos efectos en el lugar de interés tienen una probabilidad del ochenta por ciento de ser excedidos en un lapso de quince años, lo cual conduce a un período promedio de retorno de diez años. Corresponde a un sismo de intensidad relativamente baja, ante cuya ocurrencia no deben producirse daños a los elementos estructurales y no estructurales, que en caso de que ocurran, éstos deben ser reparables y no deben interferir con el funcionamiento de la edificación.

**Sistema combinado** - Es un sistema estructural en el cual las cargas verticales son resistidas por un pórtico, resistente a momentos o no, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales. (Véase A.3.2.1.2).

**Sistema de muros de carga** - Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son llevadas hasta la cimentación por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales. (Véase A.3.2.1.1).

**Sistema de pórtico** - Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, no arriostrado, que resiste todas las cargas verticales y las fuerzas horizontales. (Véase A.3.2.1.3).

**Sistema dual** - Es el sistema estructural resultante de la combinación de un pórtico espacial resistente a momentos (de capacidad moderada de disipación de energía o alta, cuando es de concreto reforzado, o de capacidad mínima de disipación de energía o alta cuando es de acero estructural) con muros estructurales o pórticos con diagonales, diseñado de acuerdo con A.3.2.1.4.

**Sistema de arriostramiento horizontal** - Es un sistema de cercha, o armadura, horizontal que cumple las mismas funciones de un diafragma.

**Sistema de resistencia sísmica** - Es aquella parte de la estructura que según el diseño aporta la resistencia requerida para soportar los movimientos sísmicos de diseño.

**Sistema Internacional de Medidas (SI)** - El sistema SI se estableció en la Decimoprimer Conferencia Mundial de Pesos y Medidas, que tuvo lugar en Sevres, Francia, en 1960. Por medio del Decreto 1731 de 18 de Septiembre de 1967, el único sistema de medidas permitido en el país es el Sistema Internacional de Medidas SI. El sistema está basado en siete unidades básicas, que son para longitud el metro (m), para masa el kilogramo (kg), para tiempo el segundo (s), para corriente eléctrica el amperio (A), para temperatura el kelvin (K), para intensidad luminosa el candela (cd) y para cantidad de substancia el mol (mol).

Para efectos del presente Reglamento se utilizan las siguientes unidades:

*Unidades básicas* – para distancia el metro (m), para masa el kilogramo (kg), y para tiempo el segundo (s).

*Unidades suplementarias* - para ángulo plano el radian (rad)

*Unidades derivadas* – para frecuencia el hertz (Hz) [ $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ ], para fuerza el newton (N) [ $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ ], para esfuerzo, o fuerza por unidad de área, el pascal (Pa) [ $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ ], y para energía o trabajo el joule (J) [ $1 \text{ J} = \text{N} \cdot \text{m}$ ]

El sistema SI utiliza los siguientes prefijos:

exa	E	$10^{18}$	1 000 000 000 000 000 000.
peta	P	$10^{15}$	1 000 000 000 000 000.
tera	T	$10^{12}$	1 000 000 000 000.
giga	G	$10^9$	1 000 000 000.
mega	M	$10^6$	1 000 000.
kilo	k	$10^3$	1 000.
mili	m	$10^{-3}$	0.001
micro	$\mu$	$10^{-6}$	0.000 001
nano	n	$10^{-9}$	0.000 000 001
pico	p	$10^{-12}$	0.000 000 000 001
femto	f	$10^{-15}$	0.000 000 000 000 001
atto	a	$10^{-18}$	0.000 000 000 000 000 001

Con el fin de evitar confusión en el uso del sistema SI, existen las siguientes reglas aceptadas internacionalmente respecto a la sintaxis que debe emplearse:

- Nunca se intercambian minúsculas y mayúsculas: mm y no MM, o kg y no KG.
- Los símbolos no se alteran en el plural: kg, y no kgs.
- No se deja espacio entre el prefijo y el símbolo: MPa y no M Pa.
- No se agrega punto al final del símbolo, a menos que sea el punto final de una oración.
- Los símbolos no son abreviaturas, por lo tanto: Pa y no Pasc, m y no mts.
- En los productos de símbolos se utiliza un punto levantado: kN · m.
- En los cocientes se utiliza un solo símbolo de división, o pueden utilizarse potencias negativas: kg/(m · s), o  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , pero no kg/m/s.
- Puede utilizarse punto, o coma, para indicar los decimales, dependiendo de la costumbre local. Esto significa que ninguno de los dos se debe utilizar para separar grupos de dígitos, para esto se utiliza un blanco. Ejemplo:  $g = 9.806\ 650 \text{ m/s}^2$ .
- Para números menores que la unidad, nunca se omite el cero inicial: 0.123 y no .123.
- Debe haber siempre un espacio entre el número y las unidades: 12.3 m/s, excepto cuando se trata de grados celsius: 12°C.
- La unidades cuyo nombre es el apellido de un científico, se emplean con mayúscula: N, Pa, etc., pero cuando se refiere a ellas no se utiliza la mayúscula: pascales, etc.

**Solicitaciones** - Son las fuerzas u otras acciones que afectan la estructura, dentro de las cuales se cuentan: los efectos gravitacionales sobre su propia masa, o peso propio, las cargas generadas por los elementos no estructurales, por sus ocupantes y sus posesiones, los efectos ambientales tales como el viento o el sismo, los asentamientos diferenciales, y los cambios dimensionales causados por variaciones en la temperatura o efectos reológicos de los materiales. En general corresponden a todo lo que puede afectar la estructura.

**Supervisión técnica** – Es la verificación de que la construcción de la estructura de la edificación se adelante de acuerdo con los diseños, planos y especificaciones realizadas por el diseñador estructural. Así mismo, que los elementos no estructurales se construyan siguiendo los diseños, planos, y especificaciones realizadas por el diseñador de elementos no estructurales, de acuerdo con el grado de desempeño requerido.

**Supervisor técnico** - Es el profesional, ingeniero civil o arquitecto, bajo cuya responsabilidad se realiza la supervisión técnica. El alcance de la supervisión técnica está definido en el Título I de este Reglamento. La supervisión técnica puede ser realizada por el mismo profesional que realiza la interventoría. Véase interventor.

**Temblor, terremoto** - Véase sismo.

**Umbral de daño** - Corresponde al nivel de movimiento sísmico a partir del cual se pueden presentar daños a los elementos estructurales y no estructurales.

**Velocidad de la onda de cortante** - Es la velocidad con que se desplaza la onda sísmica de cortante dentro de un suelo.

**Vulnerabilidad** - Es la cuantificación del potencial de mal comportamiento de una edificación con respecto a alguna sollicitación.

**Zona de amenaza sísmica (baja, intermedia o alta)** - Son regiones del país donde la amenaza sísmica se considera baja, intermedia o alta, tal como se define en A.2.3. Los requisitos de análisis y diseño estructural varían de una zona a otra.

## **A.13.2 - NOMENCLATURA**

La nomenclatura siguiente corresponde a las variables utilizadas en el Título A de este Reglamento:

- $A_a$  = coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.
- $A_d$  = coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para el umbral de daño, dado en el Capítulo C.12.
- $A_c$  = suma de las áreas efectivas de los muros estructurales en el primer nivel de la estructura, en la dirección en estudio, en m<sup>2</sup>. Véase A.4.2.
- $A_e$  = área mínima de cortante de la sección de un muro estructural, medida en un plano horizontal, en el primer nivel de la estructura y en la dirección en estudio, en m<sup>2</sup>. Véase A.4.2.
- $A_x$  = coeficiente de amplificación de la torsión accidental en el nivel  $x$ , definido en A.3.6.7.
- $a_c$  = coeficiente de amplificación relacionado con la respuesta de un sistema o componente, afectado por el tipo de soporte. Se da en la tabla A.9-4. Véase el Capítulo A.9.
- $a_p$  = coeficiente de amplificación dinámica del elemento no estructural. Véase el Capítulo A.9.
- $a_x$  = aceleración horizontal, expresada como un porcentaje de la aceleración de la gravedad, sobre el elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, o sobre el elemento no estructural, localizado en el piso  $x$ . Véase el Capítulo A.8.
- $C_c$  = coeficiente sísmico para elementos no estructurales, dado en las tablas A.9-2 y A.9-3, adimensional. Véase el Capítulo A.9.
- $C_t$  = coeficiente utilizado para calcular el período de la estructura, definido en A.4.2.2
- $C_{vx}$  = coeficiente definido en A.4.3.
- $D_e$  = longitud medida horizontalmente, en metros, de un muro estructural en el primer nivel de la estructura y en la dirección en estudio. Véase A.4.2.
- $E$  = fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E = F_s / R$ )
- $E_d$  = fuerzas sísmicas del umbral de daño. Véase el Capítulo A.12.
- $F_i, F_x$  = fuerzas sísmicas horizontales en los niveles  $i$  o  $x$  respectivamente. Véase el Capítulo A.4.
- $F_i$  = parte del cortante sísmico en la base que se genera en el nivel  $i$ , véase A.3.6.6.
- $F_p$  = fuerza horizontal en una parte de la estructura, véase A.3.6.8, o fuerza horizontal sobre un elemento estructural que no hace parte del sistema de resistencia sísmica, o elemento no estructural, componente o equipo de una edificación, aplicada en su centro de masa. Véanse los Capítulos A.8 y A.9.
- $F_{px}$  = fuerza horizontal sobre el diafragma del piso  $x$ , Véase el Capítulo A.3.
- $F_s$  = fuerzas sísmicas, véase A.3.1.1.
- $F_{xm}$  = parte del cortante sísmico modal  $V_m$  que se genera en el nivel  $x$ , de acuerdo con A.5.4.
- $f_i$  = fuerza sísmica horizontal en el nivel  $i$  para ser utilizada en la ecuación A.4-1.
- $g$  = aceleración debida a la gravedad ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).
- $h_i, h_x$  = altura en metros, medida desde la base, del nivel  $i$  o  $x$ . Véase el Capítulo A.4.
- $h_n$  = altura en metros, medida desde la base, del piso más alto del edificio. Véase el Capítulo A.4.



<b><math>h_{pi}</math></b>	= altura del piso $i$ , medida desde la superficie del diafragma del piso $i$ hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior, $i-1$ . Véanse los Capítulos A.6 y A.12.
<b><math>I</math></b>	= coeficiente de importancia definido en A.2.5.2.
<b><math>j</math></b>	= índice de una de las direcciones ortogonales principales en planta, puede ser $x$ o $y$ . Véase el Capítulo A.6.
<b><math>k</math></b>	= exponente relacionado con el período fundamental de la edificación dado en el Capítulo A.4.
<b><math>M</math></b>	= masa total de la edificación - $M$ se expresa en kg. Debe ser igual a la masa total de la estructura más la masa de aquellos elementos tales como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos o bodegas debe incluirse además un 25 por ciento de la masa correspondiente a los elementos que causan la carga viva del piso. Véanse los Capítulos A.4 y A.5.
<b><math>M_p</math></b>	= masa de un elemento o componente, en kg. Véanse los Capítulos A.3, A.8, y A.9.
<b><math>m_i, m_x</math></b>	= parte de $M$ que está colocada en el nivel $i$ o $x$ respectivamente. Véanse los Capítulos A.3 y A.4.
<b><math>m_{px}</math></b>	= masa del diafragma y de los elementos adheridos a él en el nivel $x$ , en kg. Véase A.3.6.8.
<b><math>\bar{M}_m</math></b>	= masa efectiva modal del modo $m$ , determinada de acuerdo con la ecuación A.5-2.
<b><math>\bar{M}_j</math></b>	= masa actuante total de la edificación en la dirección $j$ . Ecuación A.5-1.
<b><math>N_{ef}</math></b>	= resistencia efectiva. Véase el Capítulo A.10.
<b><math>N_{ex}</math></b>	= resistencia existente. Véase el Capítulo A.10.
<b><math>P</math></b>	= coeficiente de comportamiento relacionado con el grado de desempeño del elemento no estructural, dado en las tablas A.9-2 y A.9-3, adimensional. Véase el Capítulo A.9.
<b><math>P_i</math></b>	= suma de la carga vertical total, incluyendo muerta y viva, que existe en el piso $i$ , y todos los pisos localizados por encima. Para el cálculo de los efectos P-Delta de diseño, no hay necesidad que los coeficientes de carga de sean mayores que la unidad. Véase el Capítulo A.6.
<b><math>p</math></b>	= número total de modos utilizado en el análisis modal de la estructura. Véase el Capítulo A.5.
<b><math>Q_i</math></b>	= índice de estabilidad del piso $i$ utilizado en la evaluación de los efectos P-Delta. Véase el Capítulo A.6.
<b><math>R_0</math></b>	= coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural. Véase el Capítulo A.3.
<b><math>R</math></b>	= coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ( $R = f_a f_p R_0$ ). Véase el Capítulo A.3.
<b><math>R'</math></b>	= coeficiente de capacidad de disipación de energía que se le asigna a la edificación existente de acuerdo con lo prescrito en el Capítulo A.10.
<b><math>r_j</math></b>	= proyección, sobre la dirección perpendicular en planta a la dirección en estudio, de la distancia entre el centro de masa del piso y el punto de interés. Véase el Capítulo A.6.
<b><math>S</math></b>	= coeficiente sísmico para el perfil de suelo característico del sitio bajo consideración. Véase A.2.4.2.
<b><math>\bar{S}</math></b>	= coeficiente de sitio para ser empleado en el espectro elástico del umbral de daño ( $\bar{S} = 1.25 S$ ). Véase A.12.3.1.
<b><math>S_a</math></b>	= valor del espectro de aceleraciones de diseño para un período de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un período de vibración $T$ . Está definido en A.2.6.
<b><math>S_{am}</math></b>	= valor del espectro de aceleraciones de diseño para el período de vibración $T_m$ , correspondiente al modo de vibración $m$ . Véase el Capítulo A.5.
<b><math>S_{ad}</math></b>	= valor del espectro de aceleraciones del umbral de daño para un período de vibración dado. Máxima aceleración horizontal para el umbral de daño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un período de vibración $T$ . Está definido en el Capítulo A.12.
<b><math>T</math></b>	= valor del período fundamental del edificio, calculado de acuerdo con lo prescrito en A.4.2.
<b><math>T_a</math></b>	= período de vibración fundamental aproximado, en segundos, calculado de acuerdo con A.4.2.
<b><math>T_C</math></b>	= período de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos, y la parte descendiente del mismo. Véase A.2.6.
<b><math>T_d</math></b>	= período de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro del umbral de daño para períodos cortos y la parte descendiente del mismo. Véase el Capítulo A.12.
<b><math>T_L</math></b>	= período de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos largos. Véase A.2.6.
<b><math>T_m</math></b>	= período de vibración correspondiente al modo de vibración $m$ , en seg. Véase el Capítulo A.5.
<b><math>T_s</math></b>	= período de vibración fundamental, en segundos, del depósito de suelo subyacente en el sitio. Véase A.2.4.
<b><math>V_{mj}</math></b>	= cortante sísmico en la base correspondiente al modo $m$ en la dirección horizontal $j$ . Véase el Capítulo A.5.
<b><math>V_s</math></b>	= cortante sísmico de diseño en la base de la estructura, calculado por el método de la fuerza horizontal equivalente del Capítulo A.4.
<b><math>V_{sd}</math></b>	= cortante sísmico en la base, para las fuerzas sísmicas del umbral de daño. Véase el Capítulo A.12.

- $V_{tj}$  = cortante sísmico total en la base en la dirección horizontal  $j$ . Véase el Capítulo A.5.
- $V_i, V_x$  = fuerza cortante del piso  $i$  o  $x$ , respectivamente, en la dirección en estudio, sin dividir por  $R$ . Se determina por medio de la ecuación A.3-1. Corresponde a la suma de las fuerzas horizontales sísmicas de diseño que se aplican al nivel  $i$  o  $x$ , y todos los niveles localizados por encima de él.
- $f_a$  = coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en altura de la edificación. Véase A.3.3.3.
- $f_c$  = coeficiente de reducción de resistencia por calidad del diseño y construcción de la estructura. Véase el Capítulo A.10.
- $f_e$  = coeficiente de reducción de resistencia por estado de la estructura. Véase el Capítulo A.10.
- $f_{ij}^m$  = amplitud de desplazamiento del nivel  $i$  de la edificación, en la dirección  $j$ , cuando está vibrando en el modo  $m$ . Véase el Capítulo A.5.
- $f_p$  = coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en planta de la edificación. Véase A.3.3.3.
- $D_{cm}$  = deriva del piso  $i$ , en la dirección en estudio, medida en el centro de masa del piso, como la diferencia entre el desplazamiento horizontal del piso  $i$  menos el del piso  $i-1$ . Véase el Capítulo A.6.
- $D_{max}^i$  = deriva máxima de diseño para cualquier punto del piso  $i$ . Véase el Capítulo A.6.
- $d_{cm,j}$  = desplazamiento horizontal de diseño, del centro de masa del piso, en la dirección  $j$ . Véase el Capítulo A.6.
- $d_i$  = desplazamiento horizontal del nivel  $i$  con respecto a la base de la estructura, debido a las fuerzas horizontales  $f_i$ , para ser utilizado en la ecuación A.4-1, o desplazamiento horizontal del centro de masas del nivel  $i$  de la estructura, en metros, utilizado en el Capítulo A.6.
- $d_{max}$  = desplazamiento horizontal máximo en el nivel  $x$ . Véase A.3.6.
- $d_{pd,j}$  = desplazamiento horizontal adicional, del centro de masa del piso, causado por efectos P-Delta, en la dirección  $j$ . Véase el Capítulo A.6.
- $d_{prom}$  = promedio de los desplazamientos horizontales en puntos extremos de la estructura en el nivel  $x$ . Véase A.3.6.
- $d_{t,j}$  = desplazamiento horizontal adicional causado por efectos de torsión, de cualquier grado de libertad de la estructura, en la dirección  $j$ . Véase el Capítulo A.6.
- $d_{tot,j}$  = desplazamiento total horizontal de cualquier grado de libertad de la estructura, en la dirección  $j$ . Véase el Capítulo A.6.
- $d_{t,j}$  = desplazamiento horizontal adicional causado por efectos de torsión, de cualquier grado de libertad de la estructura, en la dirección  $j$ . Véase el Capítulo A.6.
- $q_i$  = rotación alrededor de un eje vertical que pasa por el centro de masa del piso  $i$ , causada por los efectos torsionales, en radianes. Véase el Capítulo A.6.



# APENDICE A-1

## RECOMENDACIONES SISMICAS PARA ALGUNAS ESTRUCTURAS QUE SE SALEN DEL ALCANCE DEL REGLAMENTO

### A-1.0 - NOMENCLATURA

- g** = aceleración debida a la gravedad ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ).
- I** = coeficiente de importancia dado en A.2.5.2.
- M** = masa total de la edificación; **M** debe ser igual a la masa total de la estructura más su contenido. En estructuras tales como tanques, silos y otras estructuras de almacenamiento debe incluir la masa correspondiente al contenido operacional normal de la estructura.
- R<sub>0</sub>** = coeficiente de capacidad de disipación de energía básico definido para cada sistema estructural y cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural. Véase el Capítulo A.3.
- R** = coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ( $R = f_a f_p R_0$ ). Véase el Capítulo A.3.
- T** = período fundamental de la estructura.
- W** = peso total de la edificación;  $W = M g$ .

### A-1.1 - GENERAL

**A-1.1.1 - ALCANCE** - En el presente Apéndice se dan recomendaciones que permiten determinar las fuerzas sísmicas de diseño de algunas estructuras especiales no cubiertas por el alcance de las Normas Sismo Resistentes Colombianas y su Reglamento. El presente Apéndice contiene recomendaciones de diseño que no tienen carácter obligatorio, y se incluye únicamente por razones ilustrativas.

**A-1.1.2 - REQUISITOS APLICABLES** - En general se recomienda seguir los requisitos del Reglamento con las excepciones anotadas en el presente Apéndice. Debe tenerse especial cuidado con las fuerzas de viento sobre estas estructuras especiales, pues en muchos casos son mayores que las fuerzas sísmicas.

### A-1.2 - PERIODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA

**A-1.2.1** - El valor del período fundamental de la estructura, **T**, debe obtenerse a partir de las propiedades de su sistema de resistencia sísmica, en la dirección bajo consideración, de acuerdo con los principios de la dinámica estructural, utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura. Este requisito puede suplirse por medio del uso de la ecuación A.4-1.

### A-1.3 - CALCULO DE LAS FUERZAS SISMICAS DE DISEÑO

**A-1.3.1 - MOVIMIENTOS SISMICOS DE DISEÑO** - Debe utilizarse la definición de los movimientos sísmicos de diseño dada en el Capítulo A.2 del Reglamento.

**A-1.3.2 - MASA TOTAL, M** – La masa total, **M**, debe incluir la masa correspondiente a todas las cargas muertas y las masas correspondientes al contenido operacional normal de la estructura, especialmente en tanques, silos y otras estructuras de almacenamiento.

**A-1.3.3 - COEFICIENTE DE IMPORTANCIA, I** - Debe tomarse un coeficiente de importancia, **I**, igual a la unidad, a menos que la estructura sea parte o pueda afectar edificaciones de los grupos de usos **II**, **III** o **IV**. En el caso de estructuras que sean parte de sistemas de líneas vitales, la definición del coeficiente de importancia a emplear se debe basar en consideraciones que incluyan el nivel de redundancia del sistema y el potencial de que una eventual

falla de la estructura pueda afectar la operación o estabilidad de edificaciones indispensables.

**A-1.3.4 - DISTRIBUCION EN LA ALTURA DE LAS FUERZAS SISMICAS** - La distribución en la altura de las fuerzas sísmicas horizontales puede realizarse por cualquiera de los procedimientos presentados en los Capítulos A.4 o A.5 del Reglamento.

**A-1.3.5 - COEFICIENTE BASICO DE DISIPACION DE ENERGIA,  $R_0$**  - Se recomienda utilizar los valores del coeficiente de capacidad de disipación de energía,  $R_0$ , dados en la tabla A-1-1.

## **A-1.4 - REQUISITOS DE DERIVA**

**A-1.4.1** - Los requisitos para la deriva presentados en el Capítulo A.6, no son aplicables directamente a estructuras especiales diferentes de las cubiertas por el Reglamento en su alcance. Los límites de la deriva deben ser establecidos por el diseñador tomando en cuenta el peligro que represente para la vida la falla de elementos estructurales y no estructurales, como consecuencia de los desplazamientos que sufre la estructura al verse afectada por los movimientos sísmicos de diseño.

**Tabla A-1-1**  
**Coefficiente de capacidad de disipación de energía,  $R_0$ ,**  
**para algunas estructuras especiales**

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Valor de <math>R_0</math></b>
Tanques, contenedores de líquidos y gases a presión, apoyados sobre columnas arriostradas, con diagonales, o no	<b>2.0</b>
Silos y chimeneas de concreto reforzado vaciado en sitio, cuyas paredes son continuas hasta la fundación	<b>3.5</b>
Estructuras en forma de torre cuya masa está distribuida en la altura, tales como chimeneas, silos y tanques, cuyos apoyos consisten en faldones.	<b>3.0</b>
Torres en celosía, autoportantes o con templetes, chimeneas y torres con templetes.	<b>3.0</b>
Estructuras de tipo péndulo invertido	<b>2.0</b>
Tolvas sobre columnas, con o sin contravientos.	<b>3.0</b>
Torres de enfriamiento	<b>3.5</b>
Torres o anaqueles de almacenamiento	<b>3.0</b>
Avisos y vallas publicitarias	<b>3.5</b>
Monumentos y estructuras de parques de diversión	<b>2.0</b>
Otras estructuras autoportantes, no incluidas anteriormente	<b>3.0</b>



## APENDICE A-2

# RECOMENDACIONES PARA EL CALCULO DE LOS EFECTOS DE INTERACCION DINAMICA SUELO-ESTRUCTURA

### A-2.0 - NOMENCLATURA

- $A_a$  = coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.
- $A_o$  = área de la cimentación.
- $D_s$  = profundidad del estrato blando. Véase A-2.2.1.2.
- $G_o$  =  $\frac{g v_{so}^2}{g}$  = módulo de cortante promedio para los suelos localizados bajo la cimentación para deformaciones unitarias pequeñas.
- $g$  = aceleración de la gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>)
- $h_x$  = altura medida desde la base del nivel en estudio.
- $\bar{h}$  = altura efectiva de la edificación, la cual debe tomarse igual a 0.7 veces la altura total,  $h_n$ . En edificios en los cuales toda la masa  $M$  de la edificación está concentrada en un solo piso, debe tomarse igual a la altura del piso, medida desde la base.
- $I_o$  = momento de inercia de la cimentación con respecto a un eje horizontal, perpendicular a la dirección en estudio.
- $\bar{k}$  = rigidez de la estructura considerándola como empotrada en la base. Se calcula por medio de la ecuación A-2-4.
- $K_y$  = rigidez lateral de la cimentación de la edificación, la cual se define como la fuerza estática horizontal aplicada en la cimentación, que produce una deflexión horizontal unitaria. Tanto la fuerza estática como la deflexión horizontal se toman en la dirección en estudio.
- $K_q$  = rigidez rotacional, o de balanceo, de la cimentación de la edificación, definida como el momento estático necesario para producir una rotación unitaria, en promedio, de la cimentación con respecto a un eje horizontal perpendicular a la dirección en estudio.
- $L_o$  = longitud total de la cimentación en la dirección en estudio.
- $M_o$  = momento de vuelco en la base de la edificación calculado utilizando las fuerzas horizontales de diseño sin incluir la reducción por efectos de interacción suelo-estructura.
- $M_{1o}$  = momento de vuelco en la base de la edificación calculado utilizando las fuerzas horizontales correspondientes al primer modo sin incluir la reducción por efectos de interacción suelo-estructura.
- $\bar{M}$  = masa participante de la edificación, el cual puede tomarse igual a  $0.7 M$ , excepto en aquellos casos en los cuales toda la masa  $M$  de la edificación está concentrado en un solo piso, caso en el cual debe tomarse igual a  $M$ .
- $\bar{M}_{1j}$  = masa participante de la edificación, para el modo fundamental de la edificación en la dirección  $j$ , calculado utilizando la ecuación A.5-2.
- $r$  = longitud característica de la cimentación. Se determina por medio de las ecuaciones A-2-7 o A-2-8.
- $r_a$  = longitud característica de la cimentación. Definida por medio de la ecuación A-2-7.
- $r_m$  = longitud característica de la cimentación. Definida por medio de la ecuación A-2-8.
- $S_a$  = valor del espectro de aceleraciones de diseño, determinado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.2, correspondiente al período fundamental de la estructura,  $T$  o  $T_a$ , considerada empotrada en su base, calculado de acuerdo con lo prescrito en A.4.2.
- $S_{a1}$  = valor del espectro de aceleraciones de diseño, determinado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.2, correspondiente al período del modo fundamental de la estructura,  $T_1$ , considerada empotrada en su base.
- $\bar{S}_a$  = valor del espectro de aceleraciones de diseño, determinado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.2, correspondiente al período fundamental de la estructura,  $\bar{T}$ , cuando éste se calcula considerando los efectos de la interacción suelo-estructura, tal como se define en A-2.2.1.1.
- $\bar{S}_{a1}$  = valor del espectro de aceleraciones de diseño, determinado de acuerdo con los requisitos del Capítulo A.2, correspondiente al período fundamental de la estructura,  $\bar{T}_1$ , cuando éste se calcula considerando los efectos de la interacción suelo-estructura.

- T** = valor del período fundamental del edificio, calculado de acuerdo con lo prescrito en A.4.2.
- T<sub>1</sub>** = valor del período fundamental del edificio, correspondiente al primer modo de vibración.
- $\bar{T}$**  = valor del período fundamental del edificio tomando en cuenta la interacción suelo-estructura. Se determina de acuerdo con los requisitos de A-2.2.1.1.
- $\bar{T}_1$**  = valor del período fundamental del edificio, correspondiente al primer modo de vibración, tomando en cuenta la interacción suelo-estructura.
- V<sub>s</sub>** = cortante sísmico de diseño en la base de la estructura, calculado por el método de la fuerza horizontal equivalente del Capítulo A.4.
- V<sub>s</sub><sup>c</sup>** = cortante sísmico en la base de la estructura, calculado por el método de la fuerza horizontal equivalente del Capítulo A.4, utilizando un período de vibración igual a **1.2T<sub>a</sub>**.
- V<sub>1j</sub>** = cortante sísmico de diseño en la base de la estructura en la dirección **j**, contribuido por el modo fundamental en esa dirección, calculado de acuerdo con la ecuación A.5-3 y sin ser afectado por efectos de interacción suelo-estructura..
- $\bar{V}_s$**  = cortante sísmico de diseño en la base de la estructura, calculado tomando en cuenta la interacción suelo-estructura.
- $\bar{V}_{1j}$**  = cortante sísmico de diseño en la base de la estructura en la dirección **j**, contribuido por el modo fundamental en esa dirección, y afectado por la interacción suelo-estructura.
- DV<sub>s</sub>** = reducción en el cortante sísmico de diseño en la base de la estructura, debido a los efectos de la interacción suelo-estructura. Ecuación A-2-2.
- DV<sub>1j</sub>** = reducción en el cortante sísmico de diseño en la base de la estructura en la dirección **j**, contribuido por el modo fundamental en esa dirección, debida a los efectos de la interacción suelo-estructura.
- v<sub>so</sub>** = velocidad promedio de la onda de cortante, de los suelos localizados debajo de la cimentación, para niveles bajos de deformación unitaria, menores de 0.00001 (0.001%).
- a** = parámetro que describe la densidad relativa de la estructura y el suelo bajo ella. Definida en la ecuación A-2-6.
- $\bar{b}$**  = coeficiente de amortiguamiento crítico del sistema estructural, considerando la interacción suelo-estructura, calculado de acuerdo con lo prescrito en A-2.2.1.2.
- b<sub>o</sub>** = coeficiente de amortiguamiento crítico de la cimentación. Se determina por medio de la figura A-2-1.
- d<sub>x</sub>** = deflexión horizontal en el nivel **x** de la estructura, calculada siguiendo el método de la fuerza horizontal equivalente y utilizando las fuerzas sísmicas de diseño sin ser modificadas por los efectos de la interacción suelo-estructura.
- d<sub>1x</sub>** = deflexión horizontal en el nivel **x** de la estructura, calculada para el primer modo de vibración sin incluir los efectos de la interacción suelo-estructura.
- $\bar{d}_x$**  = deflexión horizontal en el nivel **x** de la estructura, modificada por los efectos de la interacción suelo-estructura. Ecuación A-2-11.
- $\bar{d}_{1x}$**  = deflexión horizontal en el nivel **x** de la estructura, para el primer modo de vibración, modificada por los efectos de la interacción suelo-estructura.
- g** = masa unitaria promedio del suelo.

## **A-2.1 - GENERAL**

**A-2.1.1** - Los requisitos presentados en este Apéndice pueden utilizarse para tener en cuenta los efectos de interacción suelo-estructura en la determinación de las fuerzas sísmicas de diseño y las deformaciones que éstas imponen a la estructura. Su uso se permite dentro de las limitaciones que da el Capítulo A.7. El uso de estos requisitos disminuyen los valores de diseño del cortante sísmico en la base, las fuerzas horizontales y los momentos de vuelco, pero aumenta las deflexiones horizontales de la estructura, y por ende las derivas. Los requisitos para ser utilizados con el método de la fuerza horizontal equivalente se presentan en A-2.2 y para el método del análisis dinámico modal elástico en A-2.3.

## A-2.2 - METODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

Los requisitos que se presentan a continuación, complementan en lo concerniente a interacción suelo-estructura los dados en el Capítulo A.7.

**A-2.2.1 - CORTANTE EN LA BASE** - Para tener en cuenta los efectos de interacción suelo-estructura, el cortante sísmico de diseño en la base,  $V_s$ , determinado por medio de la ecuación A.4-5, puede modificarse a:

$$\bar{V}_s = V_s - DV_s \quad (\text{A-2-1})$$

y el valor de la reducción en el cortante sísmico en la base, para diseño, debe calcularse por medio de:

$$DV_s = \bar{S}_a - S_a \frac{0.05 \bar{u}}{b} \frac{0.4 \bar{u}}{u} g \bar{M} \frac{1}{V_s} (V_s - V_s) \quad (\text{A-2-2})$$

El valor del cortante sísmico en la base modificado,  $\bar{V}_s$ , no puede ser menor que  $V_s$ .

**A-2.2.1.1 - Período efectivo de la edificación** - El período efectivo,  $\bar{T}$ , debe determinarse por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{T} = T \sqrt{1 + \frac{\bar{k}}{K_y} \frac{1}{\bar{c}} + \frac{K_y h^2 \bar{\theta}}{K_q \bar{\theta}}} \quad (\text{A-2-3})$$

y

$$\bar{k} = 4p^2 \frac{\bar{M} \bar{\theta}}{T^2 \bar{\theta}} \quad (\text{A-2-4})$$

Las rigideces de la cimentación,  $K_y$  y  $K_q$ , deben determinarse por medio de principios establecidos de mecánica de suelos, utilizando propiedades del suelo que sean representativas de su comportamiento a niveles de deformación unitaria, conmensurables con los que producen los movimientos sísmicos de diseño. En aquellos casos en los cuales el estudio geotécnico no lo indique, el módulo promedio de cortante,  $G$ , para los suelos localizados debajo de la cimentación, en condiciones de deformaciones unitarias apreciables, y la velocidad de la onda de cortante,  $v_s$ , asociada con estas deformaciones unitarias, pueden determinarse utilizando la tabla A-2-1.

**Tabla A-2-1**  
Valores de  $G/G_0$  y  $v_s/v_{s0}$

	Valor de $A_a$			
	$\leq 0.10$	$\leq 0.15$	$\leq 0.20$	$\geq 0.30$
Valor de $G/G_0$	0.81	0.64	0.49	0.42
Valor de $v_s/v_{s0}$	0.90	0.80	0.70	0.65

Alternativamente, para edificaciones cuya cimentación sea una losa de fundación superficial o aproximadamente superficial, que se construye de una manera tal que se pueda considerar que el contacto entre los muros de contención y el suelo no restringe el libre movimiento de la estructura, el período de vibración efectivo, tomando en cuenta los efectos de la interacción suelo-estructura, se pueden determinar por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{T} = T \sqrt{1 + \frac{25 a r_a h}{v_s^2 T^2} \frac{1}{\bar{c}} + \frac{1.12 r_a h^2 \bar{\theta}}{r_m^3 \bar{\theta}}} \quad (\text{A-2-5})$$

en donde:

$$a = \frac{\bar{M}}{gA_o \bar{h}} \quad (\text{A-2-6})$$

$$r_a = \sqrt{\frac{A_o}{p}} \quad (\text{A-2-7})$$

y

$$r_m = \sqrt[4]{\frac{4I_o}{p}} \quad (\text{A-2-8})$$

**A-2.2.1.2 - Amortiguamiento efectivo** - El coeficiente de amortiguamiento efectivo del sistema estructura-cimentación, debe calcularse por medio de:

$$\bar{b} = b_o + \frac{0.05}{\frac{\alpha \bar{T} \bar{\sigma}}{\xi T \sigma}} \quad (\text{A-2-9})$$

Los valores de  $b_o$  se obtienen de la figura A-2-1. El parámetro  $r$  en la figura A-2-1 es una longitud característica de la cimentación, la cual se puede determinar así:

Para  $\frac{\bar{h}}{L_o} \leq 0.5$ ,  $r$  es igual a  $r_a$ , de la ecuación A-2-7 y para  $\frac{\bar{h}}{L_o} \geq 1.0$ ,  $r$  es igual a  $r_m$ , de la ecuación A-2-8.

Para valores intermedios se puede interpolar.  $L_o$  es la longitud de la cimentación en la dirección en estudio, y en la aplicación de las ecuaciones A-2-7 y A-2-8,  $A_o$  e  $I_o$  se determinan para el área de la cimentación que efectivamente está en contacto con el suelo, pues le transmite el peso de la edificación.

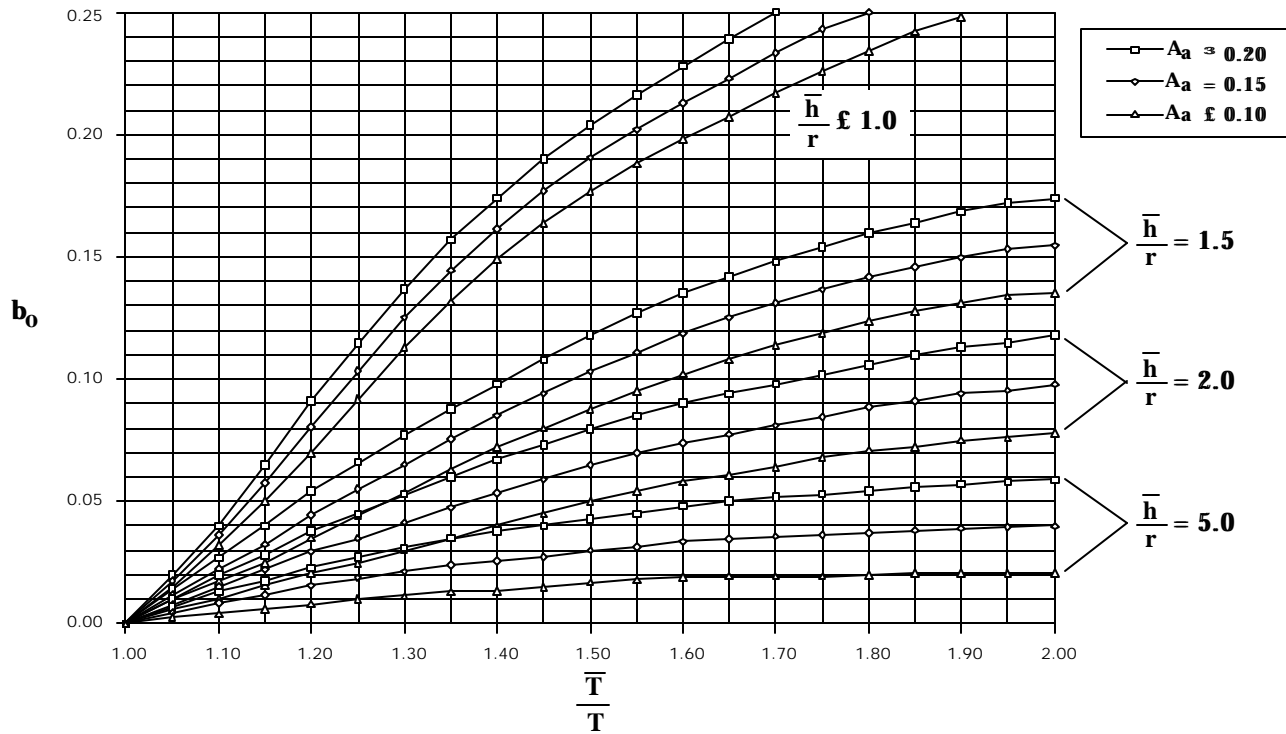
Para edificios cimentados sobre pilotes que trabajan en punta, y para todos los otros casos en los cuales el suelo de fundación consiste en un estrato de suelos blandos relativamente uniforme, colocado sobre un depósito de suelos más duros, o roca, presentándose un cambio abrupto de rigidez, el coeficiente de amortiguamiento efectivo,  $b_o$ , que se utiliza en la ecuación A-2-9 puede ser substituido por el valor dado en la siguiente ecuación:

$$b_o = b_o \left( \frac{\alpha 4 D_s \bar{\sigma}}{\xi v_s T \sigma} \right)^2 \quad (\text{A-2-10})$$

la cual es aplicable sólo en aquellos casos en los cuales la expresión entre paréntesis es menor que la unidad. En esta ecuación  $D_s$  es la profundidad total del estrato blando.

El valor de  $\bar{b}$ , calculado de acuerdo con la ecuación A-2-9, con o sin el ajuste representado en la ecuación A-2-10, en ningún caso puede ser menor de 0.05.





Coeficiente de amortiguamiento crítico de la cimentación,  $b_0$   
Figura A-2-1

**A-2.2.2 - DISTRIBUCIÓN EN LA ALTURA DE LAS FUERZAS SÍSMICAS** - La distribución en la altura del cortante en la base corregido por efectos de interacción suelo-estructura se debe tomar igual a la de la estructura sin interacción.

**A-2.2.3 - OTROS EFECTOS** - Los cortantes de piso, los momentos de vuelco y los efectos torsionales deben determinarse de la misma manera que para edificaciones en las cuales no se ha tomado en cuenta la interacción suelo-estructura, pero utilizando las fuerzas horizontales reducidas por efectos de interacción. Las deflexiones modificadas deben determinarse por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{d}_x = \frac{\bar{V}_s}{V_s} \frac{\alpha}{\epsilon} d_x + \frac{M_0 h_x \bar{\theta}}{K_q \theta} \quad (\text{A-2-11})$$

### A-2.3 - METODO DEL ANALISIS MODAL

Los siguientes requisitos complementan, en lo concerniente a interacción suelo-estructura, lo presentado en el Capítulo A.5.

**A-2.3.1 - CORTANTES MODALES EN LA BASE** - Para tener en cuenta los efectos de interacción suelo-estructura, el cortante sísmico de diseño en la base, correspondiente al modo fundamental,  $V_{1j}$ , en la dirección  $j$ , determinado por medio de la ecuación A.5-3, puede modificarse a:

$$\bar{V}_{1j} = V_{1j} - DV_{1j} \quad (\text{A-2-12})$$

y el valor de la reducción en el cortante sísmico en la base correspondiente al modo fundamental, debe calcularse utilizando la ecuación A-2-13:

$$DV_{1j} = \frac{\bar{e}}{e} S_{a1} - \bar{S}_{a1} \frac{\alpha 0.05 \bar{g}}{b} \frac{\bar{u}}{g} \bar{M}_{1j} \bar{e} V_{1j} - V_s \bar{c} \quad (\text{A-2-13})$$

El período  $\bar{T}_1$  se calcula utilizando la ecuación A-2-3 o A-2-5, según corresponda, utilizando  $T_1$  en vez de  $T$ , determinando  $\bar{k}$  por medio de la ecuación A-2-4, utilizando  $\bar{M}_{1j}$  en vez de  $\bar{M}$ , y calculando  $\bar{h}$  por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n \dot{a}_m f_i^1 h_i}{\sum_{i=1}^n \dot{a}_m f_i^1} \quad (\text{A-2-14})$$

Los valores mencionados de  $\bar{T}_1$ ,  $T_1$ ,  $\bar{M}_{1j}$ , y  $\bar{h}$  se utilizan para calcular  $\alpha$  en la ecuación A-2-6 y el coeficiente  $b_o$  de la figura A-2-1. No debe realizarse ninguna reducción en las contribuciones de los modos de vibración diferentes al fundamental por efectos de interacción suelo-estructura. El cortante en la base de diseño, en ningún caso puede ser menor que  $V_s \bar{c}$ .

**A-2.3.2 - OTROS EFECTOS MODALES** - Los cortantes de piso, los momentos de vuelco y los efectos torsionales deben determinarse de la misma manera que para edificaciones en las cuales no se ha tomado en cuenta la interacción suelo-estructura, tal como lo prescribe el Capítulo A.5, pero utilizando el valor de  $\bar{V}_{1j}$  en vez de  $V_{1j}$ . Las deflexiones modificadas del primer modo deben determinarse por medio de la siguiente ecuación:

$$\bar{d}_{1x} = \frac{\bar{V}_1}{V_1} \frac{\alpha}{e} d_{1x} + \frac{M_{1o} h_x \bar{e}}{K_q} \quad (\text{A-2-15})$$

**A-2.3.3 - VALORES DE DISEÑO** - Se determinan utilizando los procedimientos indicados en el Capítulo A.5, pero utilizando los valores modificados de los efectos del primer modo en cada una de las direcciones principales, en planta, de la edificación.



## APENDICE A-3

### VALORES DE $A_a$ Y $A_d$ Y DEFINICION DE LA ZONA DE AMENAZA SISMICA DE LOS MUNICIPIOS COLOMBIANOS

#### DEPARTAMENTO DE AMAZONAS

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
LETICIA	0.05	0.005	BAJA	MIRITI-PARANA	0.05	0.005	BAJA
EL ENCANTO	0.05	0.005	BAJA	PUERTO NARINO	0.05	0.005	BAJA
LA CHORRERA	0.05	0.005	BAJA	PUERTO SANTANDER	0.05	0.005	BAJA
LA PEDRERA	0.05	0.005	BAJA	TARAPACA	0.05	0.005	BAJA

#### DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
MEDELLIN	0.20	0.04	INTERMEDIA	LA CEJA	0.20	0.04	INTERMEDIA
ABEJORRAL	0.20	0.04	INTERMEDIA	LA ESTRELLA	0.20	0.04	INTERMEDIA
ABRIAQUI	0.25	0.04	ALTA	LA UNION	0.20	0.04	INTERMEDIA
ALEJANDRIA	0.20	0.03	INTERMEDIA	LIBORINA	0.20	0.04	INTERMEDIA
AMAGA	0.20	0.04	INTERMEDIA	MACEO	0.15	0.03	INTERMEDIA
AMALFI	0.15	0.03	INTERMEDIA	MARINILLA	0.20	0.03	INTERMEDIA
ANDES	0.25	0.04	ALTA	MONTEBELLO	0.20	0.04	INTERMEDIA
ANGELOPOLIS	0.20	0.04	INTERMEDIA	MURINDO	0.40	0.06	ALTA
ANGOSTURA	0.20	0.03	INTERMEDIA	MUTATA	0.30	0.05	ALTA
ANORI	0.15	0.03	INTERMEDIA	NARINO	0.20	0.03	INTERMEDIA
ANTIOQUIA	0.20	0.04	INTERMEDIA	NECOCLI	0.20	0.03	INTERMEDIA
ANZA	0.20	0.04	INTERMEDIA	NECHI	0.15	0.02	INTERMEDIA
APARTADO	0.30	0.04	ALTA	OLAYA	0.20	0.04	INTERMEDIA
ARBOLETES	0.15	0.03	INTERMEDIA	PENOL	0.20	0.03	INTERMEDIA
ARGELIA	0.20	0.03	INTERMEDIA	PEQUE	0.20	0.04	INTERMEDIA
ARMENIA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PUEBLORRICO	0.25	0.04	ALTA
BARBOSA	0.20	0.03	INTERMEDIA	PUERTO BERRIO	0.15	0.03	INTERMEDIA
BELMIRA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PUERTO NARE	0.15	0.03	INTERMEDIA
BELLO	0.20	0.04	INTERMEDIA	PUERTO TRIUNFO	0.15	0.03	INTERMEDIA
BETANIA	0.30	0.05	ALTA	REMEDIOS	0.15	0.03	INTERMEDIA
BETULIA	0.25	0.04	ALTA	RETIRO	0.20	0.04	INTERMEDIA
BOLIVAR	0.25	0.05	ALTA	RIONEGRO	0.20	0.03	INTERMEDIA
BRICENO	0.20	0.03	INTERMEDIA	SABANALARGA	0.20	0.04	INTERMEDIA
BURITICA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SABANETA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CACERES	0.15	0.03	INTERMEDIA	SALGAR	0.25	0.04	ALTA
CAICEDO	0.25	0.04	ALTA	SAN ANDRES	0.20	0.04	INTERMEDIA
CALDAS	0.20	0.04	INTERMEDIA	SAN CARLOS	0.15	0.03	INTERMEDIA
CAMPAMENTO	0.20	0.03	INTERMEDIA	SAN FRANCISCO	0.15	0.03	INTERMEDIA
CANASGORDAS	0.25	0.04	ALTA	SAN JERONIMO	0.20	0.04	INTERMEDIA
CARACOLI	0.15	0.03	INTERMEDIA	SAN JOSE DE LA MONTANA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CARAMANTA	0.25	0.04	ALTA	SAN JUAN DE URABA	0.15	0.03	INTERMEDIA
CAREPA	0.30	0.04	ALTA	SAN LUIS	0.15	0.03	INTERMEDIA
CARMEN DE VIBORAL	0.20	0.03	INTERMEDIA	SAN PEDRO	0.20	0.04	INTERMEDIA
CAROLINA	0.20	0.03	INTERMEDIA	SAN PEDRO DE URABA	0.20	0.03	INTERMEDIA
CAUCASIA	0.15	0.03	INTERMEDIA	SAN RAFAEL	0.15	0.03	INTERMEDIA
CHIGORODO	0.30	0.05	ALTA	SAN ROQUE	0.15	0.03	INTERMEDIA
CISNEROS	0.20	0.03	INTERMEDIA	SAN VICENTE	0.20	0.03	INTERMEDIA
COCORNA	0.20	0.03	INTERMEDIA	SANTA BARBARA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CONCEPCION	0.20	0.03	INTERMEDIA	SANTA ROSA DE OSOS	0.20	0.03	INTERMEDIA
CONCORDIA	0.25	0.04	ALTA	SANTO DOMINGO	0.20	0.03	INTERMEDIA
COPACABANA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SANTUARIO	0.20	0.03	INTERMEDIA
DABEIBA	0.30	0.05	ALTA	SEGOVIA	0.15	0.03	INTERMEDIA
DON MATIAS	0.20	0.03	INTERMEDIA	SONSON	0.20	0.04	INTERMEDIA
EBEJICO	0.20	0.04	INTERMEDIA	SOPETRAN	0.20	0.04	INTERMEDIA
EL BAGRE	0.15	0.03	INTERMEDIA	TAMESIS	0.25	0.04	ALTA
ENTRERRIOS	0.20	0.03	INTERMEDIA	TARAZA	0.15	0.03	INTERMEDIA

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

ENVIGADO	0.20	0.04	INTERMEDIA	TARSO	0.25	0.04	ALTA
FREDONIA	0.20	0.04	INTERMEDIA	TITIRIBI	0.20	0.04	INTERMEDIA
FRONTINO	0.25	0.05	ALTA	TOLEDO	0.20	0.04	INTERMEDIA
GIRALDO	0.20	0.04	INTERMEDIA	TURBO	0.25	0.04	ALTA
GIRARDOTA	0.20	0.03	INTERMEDIA	URAMITA	0.25	0.05	ALTA
GOMEZ PLATA	0.20	0.03	INTERMEDIA	URRAO	0.25	0.05	ALTA
GRANADA	0.20	0.03	INTERMEDIA	VALDIVIA	0.20	0.03	INTERMEDIA
GUADALUPE	0.20	0.03	INTERMEDIA	VALPARAISO	0.25	0.04	ALTA
GUARNE	0.20	0.03	INTERMEDIA	VEGACHI	0.15	0.03	INTERMEDIA
GUATAPE	0.20	0.03	INTERMEDIA	VENEZIA	0.25	0.04	INTERMEDIA
HELICONIA	0.20	0.04	INTERMEDIA	VIGIA DEL FUERTE	0.40	0.05	ALTA
HISPANIA	0.25	0.04	ALTA	YALI	0.15	0.03	INTERMEDIA
ITAGUI	0.20	0.04	INTERMEDIA	YARUMAL	0.20	0.03	INTERMEDIA
ITUANGO	0.20	0.04	INTERMEDIA	YOLOMBO	0.15	0.03	INTERMEDIA
JARDIN	0.25	0.04	ALTA	YONDO	0.15	0.04	INTERMEDIA
JERICO	0.25	0.04	ALTA	ZARAGOZA	0.15	0.03	INTERMEDIA

**DEPARTAMENTO DE ARAUCA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
ARAUCA	0.15	0.02	INTERMEDIA	PUERTO RONDON	0.15	0.02	INTERMEDIA
ARAUQUITA	0.15	0.03	INTERMEDIA	SARAVENA	0.25	0.03	ALTA
CRAVO NORTE	0.075	0.01	BAJA	TAME	0.20	0.03	INTERMEDIA
FORTUL	0.25	0.03	ALTA				

**DEPARTAMENTO DE ATLANTICO**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
BARRANQUILLA	0.10	0.02	BAJA	PONEDERA	0.10	0.02	BAJA
BARANOA	0.10	0.02	BAJA	PUERTO COLOMBIA	0.10	0.02	BAJA
CAMPO DE LA CRUZ	0.10	0.02	BAJA	REPELON	0.10	0.02	BAJA
CANDELARIA	0.10	0.02	BAJA	SABANAGRANDE	0.10	0.02	BAJA
GALAPA	0.10	0.02	BAJA	SABANALARGA	0.10	0.02	BAJA
JUAN DE ACOSTA	0.10	0.02	BAJA	SANTA LUCIA	0.10	0.02	BAJA
LURUACO	0.10	0.02	BAJA	SANTO TOMAS	0.10	0.02	BAJA
MALAMBO	0.10	0.02	BAJA	SOLEDAD	0.10	0.02	BAJA
MANATI	0.10	0.02	BAJA	SUAN	0.10	0.02	BAJA
PALMAR DE VARELA	0.10	0.02	BAJA	TUBARA	0.10	0.02	BAJA
PIOJO	0.10	0.02	BAJA	USIACURI	0.10	0.02	BAJA
POLONUEVO	0.10	0.02	BAJA				

**DEPARTAMENTO DE BOLIVAR**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
CARTAGENA	0.10	0.02	BAJA	PINILLOS	0.10	0.02	BAJA
ACHI	0.10	0.02	BAJA	REGIDOR	0.10	0.02	BAJA
ALTOS DEL ROSARIO	0.10	0.02	BAJA	RIO VIEJO	0.10	0.02	BAJA
ARENAL	0.10	0.02	BAJA	SAN ESTANISLAO	0.10	0.02	BAJA
ARJONA	0.10	0.02	BAJA	SAN FERNANDO	0.10	0.02	BAJA
BARRANCO DE LOBA	0.10	0.02	BAJA	SAN JACINTO	0.10	0.02	BAJA
CALAMAR	0.10	0.02	BAJA	SAN JUAN NEPOMUCENO	0.10	0.02	BAJA
CANTAGALLO	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAN MARTIN DE LOBA	0.10	0.02	BAJA
CICUCO	0.10	0.02	BAJA	SAN PABLO	0.15	0.03	INTERMEDIA
CORDOBA	0.10	0.02	BAJA	SANTA CATALINA	0.10	0.02	BAJA
CLEMENCIA	0.10	0.02	BAJA	SAN CRISTOBAL	0.10	0.02	BAJA
EL CARMEN DE BOLIVAR	0.10	0.02	BAJA	SANTA ROSA	0.10	0.02	BAJA
EL GUAMO	0.10	0.02	BAJA	SANTA ROSA DEL SUR	0.10	0.03	BAJA
EL PEDON	0.10	0.02	BAJA	SIMITI	0.10	0.03	BAJA
HATILLO DE LOBA	0.10	0.02	BAJA	SOPLAVIENTO	0.10	0.02	BAJA
MAGANGUE	0.10	0.02	BAJA	TALAIGUA NUEVO	0.10	0.02	BAJA
MAHATES	0.10	0.02	BAJA	TIQUISIO (PUERTO RICO)	0.10	0.02	BAJA
MARGARITA	0.10	0.02	BAJA	TURBACO	0.10	0.02	BAJA

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

MARIA LA BAJA	0.15	0.02	INTERMEDIA	TURBANA	0.10	0.02	BAJA
MOMPOS	0.10	0.02	BAJA	VILLANUEVA	0.10	0.02	BAJA
MONTECRISTO	0.10	0.02	BAJA	ZAMBRANO	0.10	0.02	BAJA
MORALES	0.10	0.02	BAJA				

**DEPARTAMENTO DE BOYACA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
TUNJA	0.20	0.04	INTERMEDIA	OTANCHE	0.20	0.04	INTERMEDIA
ALMEIDA	0.25	0.03	ALTA	PACHAVITA	0.25	0.03	ALTA
AQUITANIA	0.30	0.04	ALTA	PAEZ	0.30	0.03	ALTA
ARCABUCO	0.20	0.04	INTERMEDIA	PAIPA	0.25	0.04	ALTA
BELEN	0.25	0.04	ALTA	PAJARITO	0.25	0.03	ALTA
BERBEO	0.30	0.03	ALTA	PANQUEBA	0.30	0.04	ALTA
BETEITIVA	0.30	0.04	ALTA	PAUNA	0.20	0.04	INTERMEDIA
BOAVITA	0.30	0.04	ALTA	PAYA	0.25	0.03	ALTA
BOYACA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PAZ DE RIO	0.30	0.04	ALTA
BRICENO	0.20	0.04	INTERMEDIA	PESCA	0.30	0.04	ALTA
BUENAVISTA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PISVA	0.30	0.03	ALTA
BUSBANZA	0.25	0.04	ALTA	PUERTO BOYACA	0.15	0.03	INTERMEDIA
CALDAS	0.20	0.04	INTERMEDIA	QUIPAMA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CAMPOHERMOSO	0.30	0.03	ALTA	RAMIRIQUI	0.25	0.04	ALTA
CERINZA	0.25	0.04	ALTA	RAQUIRA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHINAVITA	0.25	0.03	ALTA	RONDON	0.25	0.04	ALTA
CHIQUEQUIRA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SABOYA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHISCAS	0.30	0.04	ALTA	SACHICA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHITA	0.30	0.04	ALTA	SAMACA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHITARAQUE	0.20	0.04	INTERMEDIA	SAN EDUARDO	0.30	0.03	ALTA
CHIVATA	0.25	0.04	ALTA	SAN JOSE DE PARE	0.20	0.04	INTERMEDIA
CIENEGA	0.25	0.04	ALTA	SAN LUIS DE GACENO	0.30	0.03	ALTA
COMBITA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SAN MATEO	0.30	0.04	ALTA
COPER	0.20	0.04	INTERMEDIA	SAN MIGUEL DE SEMA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CORRALES	0.30	0.04	ALTA	SAN PABLO DE BORBUR	0.20	0.04	INTERMEDIA
COVARACHIA	0.25	0.04	ALTA	SANTANA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CUBARA	0.30	0.03	ALTA	SANTA MARIA	0.30	0.03	ALTA
CUCAITA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SANTA ROSA DE VITERBO	0.25	0.04	ALTA
CUITIVA	0.30	0.04	ALTA	SANTA SOFIA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHIQUIZA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SATIVANORTE	0.30	0.04	ALTA
CHIVOR	0.30	0.03	ALTA	SATIVASUR	0.30	0.04	ALTA
DUITAMA	0.25	0.04	ALTA	SIACHOQUE	0.25	0.04	ALTA
EL COCUY	0.30	0.04	ALTA	SOATA	0.25	0.04	ALTA
EL ESPINO	0.30	0.04	ALTA	SOCOTA	0.30	0.04	ALTA
FIRAVITOBA	0.30	0.04	ALTA	SOCHA	0.30	0.04	ALTA
FLORESTA	0.25	0.04	ALTA	SOGAMOSO	0.30	0.04	ALTA
GACHANTIVA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SOMONDOCO	0.25	0.03	ALTA
GAMEZA	0.30	0.04	ALTA	SORA	0.20	0.04	INTERMEDIA
GARAGOA	0.25	0.03	ALTA	SOTAQUIRA	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUACAMAYAS	0.30	0.04	ALTA	SORACA	0.25	0.04	INTERMEDIA
GUATEQUE	0.25	0.03	ALTA	SUSACON	0.30	0.04	ALTA
GUAYATA	0.25	0.03	ALTA	SUTAMARCHAN	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUICAN	0.30	0.04	ALTA	SUTATENZA	0.25	0.03	ALTA
IZA	0.30	0.04	ALTA	TASCO	0.30	0.04	ALTA
JENESANO	0.25	0.04	ALTA	TENZA	0.25	0.03	ALTA
JERICO	0.30	0.04	ALTA	TIBANA	0.25	0.04	ALTA
LABRANZAGRANDE	0.30	0.03	ALTA	TIBASOSA	0.25	0.04	ALTA
LA CAPILLA	0.25	0.03	ALTA	TINJACA	0.20	0.04	INTERMEDIA
LA VICTORIA	0.20	0.04	INTERMEDIA	TIPACOQUE	0.25	0.04	ALTA
LA UVITA	0.30	0.04	ALTA	TOCA	0.25	0.04	ALTA
VILLA DE LEYVA	0.20	0.04	INTERMEDIA	TOGUI	0.20	0.04	INTERMEDIA
MACANAL	0.30	0.03	ALTA	TOPAGA	0.30	0.04	ALTA
MARIPI	0.20	0.04	INTERMEDIA	TOTA	0.30	0.04	ALTA
MIRAFLORES	0.30	0.03	ALTA	TUNUNGUA	0.20	0.04	INTERMEDIA
MONGUA	0.30	0.04	ALTA	TURMEQUE	0.20	0.04	INTERMEDIA
MONGUI	0.30	0.04	ALTA	TUTA	0.25	0.04	ALTA
MONQUIRA	0.20	0.04	INTERMEDIA	TUTASA	0.25	0.04	ALTA
MOTAVITA	0.20	0.04	INTERMEDIA	UMBITA	0.20	0.04	INTERMEDIA
MUZO	0.20	0.04	INTERMEDIA	VENTAQUEMADA	0.20	0.04	INTERMEDIA

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

NOBSA	0.25	0.04	ALTA	VIRACACHA	0.25	0.04	ALTA
NUEVO COLON	0.20	0.04	INTERMEDIA	ZETAQUIRA	0.25	0.03	ALTA
OICATA	0.25	0.04	ALTA				

**DEPARTAMENTO DE CALDAS**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
MANIZALES	0.25	0.04	ALTA	NEIRA	0.25	0.04	ALTA
AGUADAS	0.25	0.04	ALTA	PACORA	0.25	0.04	ALTA
ANSERMA	0.25	0.04	ALTA	PALESTINA	0.25	0.04	ALTA
ARANZAZU	0.25	0.04	ALTA	PENSILVANIA	0.20	0.03	INTERMEDIA
BELALCAZAR	0.25	0.04	ALTA	RIOSUCIO	0.25	0.04	ALTA
CHINCHINA	0.25	0.04	ALTA	RISARALDA	0.25	0.04	ALTA
FILADELFIA	0.25	0.04	ALTA	SALAMINA	0.25	0.04	ALTA
LA DORADA	0.15	0.03	INTERMEDIA	SAMANA	0.20	0.03	INTERMEDIA
LA MERCED	0.25	0.04	ALTA	SUPIA	0.25	0.04	ALTA
MANZANARES	0.20	0.03	INTERMEDIA	VICTORIA	0.15	0.03	INTERMEDIA
MARMATO	0.25	0.04	ALTA	VILLAMARIA	0.25	0.04	ALTA
MARQUETALIA	0.20	0.03	INTERMEDIA	VITERBO	0.25	0.04	ALTA
MARULANDA	0.20	0.04	INTERMEDIA				

**DEPARTAMENTO DE CAQUETA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
FLORENCIA	0.20	0.03	INTERMEDIA	MILAN	0.15	0.02	INTERMEDIA
ALBANIA	0.20	0.03	INTERMEDIA	MORELIA	0.15	0.02	INTERMEDIA
BELEN DE LOS ANDAQUIES	0.20	0.03	INTERMEDIA	PUERTO RICO	0.15	0.03	INTERMEDIA
CARTAGENA DEL CHAIRA	0.10	0.02	BAJA	SAN JOSE DE FRAGUA	0.20	0.03	INTERMEDIA
CURILLO	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAN VICENTE DEL CAGUAN	0.15	0.02	INTERMEDIA
EL DONCELLO	0.15	0.03	INTERMEDIA	SOLANO	0.075	0.02	BAJA
EL PAUJIL	0.15	0.02	INTERMEDIA	VALPARAISO	0.15	0.02	INTERMEDIA
LA MONTANITA	0.15	0.02	INTERMEDIA				

**DEPARTAMENTO DE CASANARE**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
YOPAL	0.20	0.03	INTERMEDIA	PORE	0.20	0.03	INTERMEDIA
AGUAZUL	0.20	0.03	INTERMEDIA	RECETOR	0.25	0.03	ALTA
CHAMEZA	0.25	0.03	ALTA	SABANALARGA	0.30	0.03	ALTA
HATO COROZAL	0.20	0.03	INTERMEDIA	SACAMA	0.30	0.03	ALTA
LA SALINA	0.30	0.03	ALTA	SAN LUIS DE PALENQUE	0.15	0.02	INTERMEDIA
MANI	0.15	0.02	INTERMEDIA	TAMARA	0.25	0.03	ALTA
MONTERREY	0.25	0.03	ALTA	TAURAMENA	0.25	0.03	ALTA
NUNCHIA	0.20	0.03	INTERMEDIA	TRINIDAD	0.15	0.02	INTERMEDIA
OROCUE	0.075	0.01	BAJA	VILLANUEVA	0.20	0.02	INTERMEDIA
PAZ DE ARIPORO	0.20	0.03	INTERMEDIA				

**DEPARTAMENTO DE CAUCA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
POPAYAN	0.25	0.04	ALTA	MIRANDA	0.25	0.04	ALTA
ALMAGUER	0.25	0.04	ALTA	MORALES	0.25	0.04	ALTA
ARGELIA	0.25	0.04	ALTA	PADILLA	0.25	0.04	ALTA
BALBOA	0.25	0.04	ALTA	PAEZ (BELALCAZAR)	0.25	0.04	ALTA
BOLIVAR	0.25	0.04	ALTA	PATIA (EL BORDO)	0.25	0.04	ALTA
BUENOS AIRES	0.25	0.04	ALTA	PIENDAMO	0.25	0.04	ALTA
CAJIBO	0.25	0.04	ALTA	PUERTO TEJADA	0.25	0.04	ALTA
CALDONO	0.25	0.04	ALTA	PURACE (COCONUCO)	0.25	0.04	ALTA
CALOTO	0.25	0.04	ALTA	ROSAS	0.25	0.04	ALTA

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

CORINTO	0.25	0.04	ALTA	SAN SEBASTIAN	0.30	0.04	ALTA
EL TAMBO	0.25	0.04	ALTA	SANTANDER DE QUILICHAO	0.25	0.04	ALTA
FLORENCIA	0.25	0.04	ALTA	SANTA ROSA	0.35	0.04	ALTA
GUAPI	0.40	0.06	ALTA	SILVIA	0.25	0.04	ALTA
INZA	0.30	0.04	ALTA	SOTARA (PISPAMBA)	0.25	0.04	ALTA
JAMBALO	0.25	0.04	ALTA	SUAREZ	0.25	0.04	ALTA
LA SIERRA	0.25	0.04	ALTA	TIMBIO	0.25	0.04	ALTA
LA VEGA	0.25	0.04	ALTA	TIMBIQUI	0.40	0.06	ALTA
LOPEZ	0.30	0.05	ALTA	TORIBIO	0.25	0.04	ALTA
MERCADERES	0.25	0.04	ALTA	TOTORO	0.25	0.04	ALTA

**DEPARTAMENTO DE CESAR**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
VALLEDUPAR	0.10	0.02	BAJA	GONZALEZ	0.15	0.03	INTERMEDIA
AGUACHICA	0.10	0.03	BAJA	LA GLORIA	0.10	0.02	BAJA
AGUSTIN CODAZZI	0.10	0.02	BAJA	LA JAGUA DE IBIRICO	0.10	0.02	BAJA
ASTREA	0.10	0.02	BAJA	MANAURE BALCON DEL CESAR	0.10	0.02	BAJA
BECERRIL	0.10	0.02	BAJA	PAELITAS	0.10	0.02	BAJA
BOSCONIA	0.10	0.02	BAJA	PELAYA	0.10	0.02	BAJA
CHIMICHAGUA	0.10	0.02	BAJA	RIO DE ORO	0.15	0.03	INTERMEDIA
CHIRIGUANA	0.10	0.02	BAJA	LA PAZ (ROBLES)	0.10	0.02	BAJA
CURUMANI	0.10	0.02	BAJA	SAN ALBERTO	0.20	0.03	INTERMEDIA
EL COPEY	0.10	0.02	BAJA	SAN DIEGO	0.10	0.02	BAJA
EL PASO	0.10	0.02	BAJA	SAN MARTIN	0.15	0.03	INTERMEDIA
GAMARRA	0.10	0.02	BAJA	TAMALAMEQUE	0.10	0.02	BAJA

**DEPARTAMENTO DE CHOCO**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
QUIBDO	0.30	0.06	ALTA	JURADO	0.35	0.05	ALTA
ACANDI	0.30	0.04	ALTA	LLORO	0.30	0.06	ALTA
ALTO BAUDO	0.40	0.06	ALTA	NOVITA	0.30	0.05	ALTA
BAGADO	0.30	0.05	ALTA	NUQUI	0.40	0.05	ALTA
BAHIA SOLANO	0.40	0.05	ALTA	RIOSUCIO	0.40	0.06	ALTA
BAJO BAUDO	0.40	0.06	ALTA	SAN JOSE DEL PALMAR	0.30	0.05	ALTA
BAJO SAN JUAN	0.40	0.06	ALTA	SANTA GENOVEVA DE DOCORDO	0.35	0.05	ALTA
BOJAYA	0.40	0.05	ALTA	SIPI	0.30	0.05	ALTA
CONDOTO	0.35	0.06	ALTA	TADO	0.30	0.06	ALTA
EL CARMEN	0.30	0.05	ALTA	UNGUIA	0.30	0.04	ALTA
ITSMINA	0.35	0.06	ALTA				

**DEPARTAMENTO DE CORDOBA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
MONTERIA	0.15	0.03	INTERMEDIA	PLANETA RICA	0.15	0.03	INTERMEDIA
AYAPEL	0.15	0.03	INTERMEDIA	PUEBLO NUEVO	0.15	0.03	INTERMEDIA
BUENAVISTA	0.15	0.03	INTERMEDIA	PUERTO ESCONDIDO	0.15	0.03	INTERMEDIA
CANALETE	0.15	0.03	INTERMEDIA	PUERTO LIBERTADOR	0.20	0.03	INTERMEDIA
CERETE	0.15	0.03	INTERMEDIA	PURISIMA	0.15	0.02	INTERMEDIA
CHIMA	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAHAGUN	0.15	0.02	INTERMEDIA
CHINU	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAN ANDRES SOTAVENTO	0.15	0.02	INTERMEDIA
CIENAGA DE ORO	0.15	0.03	INTERMEDIA	SAN ANTERO	0.15	0.02	INTERMEDIA
LORICA	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAN BERNARDO DEL VIENTO	0.15	0.02	INTERMEDIA
LOS CORDOBAS	0.15	0.03	INTERMEDIA	SAN CARLOS	0.15	0.03	INTERMEDIA
MOMIL	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAN PELAYO	0.15	0.03	INTERMEDIA
MONTelibano	0.15	0.03	INTERMEDIA	TIERRALTA	0.20	0.03	INTERMEDIA
MONITOS	0.15	0.02	INTERMEDIA	VALENCIA	0.20	0.03	INTERMEDIA

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

**DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
SANTA FE DE BOGOTA	0.20	0.04	INTERMEDIA	MOSQUERA	0.20	0.04	INTERMEDIA
AGUA DE DIOS	0.20	0.04	INTERMEDIA	NARINO	0.15	0.04	INTERMEDIA
ALBAN	0.20	0.04	INTERMEDIA	NEMOCON	0.20	0.04	INTERMEDIA
ANAPOIMA	0.20	0.04	INTERMEDIA	NILO	0.20	0.04	INTERMEDIA
ANOLAIMA	0.20	0.04	INTERMEDIA	NIMAIMA	0.20	0.04	INTERMEDIA
APULO (RAFAEL REYES)	0.20	0.04	INTERMEDIA	NOCAIMA	0.20	0.04	INTERMEDIA
ARBELAEZ	0.20	0.04	INTERMEDIA	PACHO	0.20	0.04	INTERMEDIA
BELTRAN	0.15	0.04	INTERMEDIA	PAIME	0.20	0.04	INTERMEDIA
BITUJIMA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PANDI	0.20	0.04	INTERMEDIA
BOJACA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PARATEBUENO	0.25	0.03	ALTA
CABRERA	0.25	0.04	ALTA	PASCA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CACHIPAY	0.20	0.04	INTERMEDIA	PUERTO SALGAR	0.15	0.03	INTERMEDIA
CAJICA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PULI	0.15	0.04	INTERMEDIA
CAPARRAPI	0.15	0.04	INTERMEDIA	QUEBRADANEGRA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CAQUEZA	0.25	0.03	ALTA	QUETAME	0.30	0.03	ALTA
CARMEN DE CARUPA	0.20	0.04	INTERMEDIA	QUIPILE	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHAGUANI	0.20	0.04	INTERMEDIA	RICAU RTE	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHIA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SAN ANTONIO DE TEQUENDAMA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHIPAQUE	0.25	0.03	ALTA	SAN BERNARDO	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHOACHI	0.25	0.03	ALTA	SAN CAYETANO	0.20	0.04	INTERMEDIA
CHOCONTA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SAN FRANCISCO	0.20	0.04	INTERMEDIA
COGUA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SAN JUAN DE RIO SECO	0.20	0.04	INTERMEDIA
COTA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SASAIMA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CUCUNUBA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SESQUILE	0.20	0.04	INTERMEDIA
EL COLEGIO	0.20	0.04	INTERMEDIA	SIBATE	0.20	0.04	INTERMEDIA
EL PENON	0.20	0.04	INTERMEDIA	SILVANIA	0.20	0.04	INTERMEDIA
FACATATIVA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SIMIJACA	0.20	0.04	INTERMEDIA
FOMEQUE	0.25	0.03	ALTA	SOACHA	0.20	0.04	INTERMEDIA
FOSCA	0.30	0.03	ALTA	SOPO	0.20	0.04	INTERMEDIA
FUNZA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SUBACHOQUE	0.20	0.04	INTERMEDIA
FUQUENE	0.20	0.04	INTERMEDIA	SUESCA	0.20	0.04	INTERMEDIA
FUSAGASUGA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SUPATA	0.20	0.04	INTERMEDIA
GACHALA	0.30	0.03	ALTA	SUSA	0.20	0.04	INTERMEDIA
GACHANCIPA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SUTATAUSA	0.20	0.04	INTERMEDIA
GACHETA	0.25	0.03	ALTA	TABIO	0.20	0.04	INTERMEDIA
GAMA	0.25	0.03	ALTA	TAUSA	0.20	0.04	INTERMEDIA
GIRARDOT	0.20	0.04	INTERMEDIA	TENA	0.20	0.04	INTERMEDIA
GRANADA	0.20	0.04	INTERMEDIA	TENJO	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUACHETA	0.20	0.04	INTERMEDIA	TIBACUY	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUADUAS	0.20	0.04	INTERMEDIA	TIBIRITA	0.25	0.03	ALTA
GUASCA	0.20	0.04	INTERMEDIA	TOCAIMA	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUATAQUI	0.15	0.04	INTERMEDIA	TOCANCIPA	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUATAVITA	0.20	0.04	INTERMEDIA	TOPAIPI	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUAYABAL DE SIQUIMA	0.20	0.04	INTERMEDIA	UBALA	0.30	0.03	ALTA
GUAYABETAL	0.30	0.03	ALTA	UBAQUE	0.25	0.03	ALTA
GUTIERREZ	0.30	0.03	ALTA	UBATE	0.20	0.04	INTERMEDIA
JERUSALEN	0.15	0.04	INTERMEDIA	UNE	0.25	0.03	ALTA
JUNIN	0.25	0.03	ALTA	UTICA	0.20	0.04	INTERMEDIA
LA CALERA	0.20	0.04	INTERMEDIA	VENECIA (OSPINA PEREZ)	0.25	0.04	ALTA
LA MESA	0.20	0.04	INTERMEDIA	VERGARA	0.20	0.04	INTERMEDIA
LA PALMA	0.20	0.04	INTERMEDIA	VIANI	0.20	0.04	INTERMEDIA
LA PENNA	0.20	0.04	INTERMEDIA	VILLAGOMEZ	0.20	0.04	INTERMEDIA
LA VEGA	0.20	0.04	INTERMEDIA	VILLAPINZON	0.20	0.04	INTERMEDIA
LENGUAZAUQUE	0.20	0.04	INTERMEDIA	VILLETA	0.20	0.04	INTERMEDIA
MACHETA	0.20	0.04	INTERMEDIA	VIOTA	0.20	0.04	INTERMEDIA
MADRID	0.20	0.04	INTERMEDIA	YACOPI	0.20	0.04	INTERMEDIA
MANTA	0.25	0.03	ALTA	ZIPACON	0.20	0.04	INTERMEDIA
MEDINA	0.30	0.03	ALTA	ZIPAQUIRA	0.20	0.04	INTERMEDIA



**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

**DEPARTAMENTO DE GUAINIA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
PUERTO INIRIDA	0.05	0.01	BAJA	SAN FELIPE	0.05	0.005	BAJA
BARRANCO DE MINAS	0.075	0.01	BAJA				

**DEPARTAMENTO DE GUAJIRA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
RIOHACHA	0.15	0.02	INTERMEDIA	MAICAO	0.15	0.02	INTERMEDIA
BARRANCAS	0.15	0.02	INTERMEDIA	MANAURE	0.15	0.02	INTERMEDIA
DIBULLA	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAN JUAN DEL CESAR	0.15	0.02	INTERMEDIA
DISTRACCION	0.10	0.02	BAJA	URIBIA	0.15	0.02	INTERMEDIA
EL MOLINO	0.10	0.02	BAJA	URUMITA	0.10	0.02	BAJA
FONSECA	0.15	0.02	INTERMEDIA	VILLANUEVA	0.10	0.02	BAJA
HATONUEVO	0.15	0.02	INTERMEDIA				

**DEPARTAMENTO DE GUAVIARE**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
SAN JOSE DEL GUAVIARE	0.10	0.01	BAJA	EL RETORNO	0.10	0.01	BAJA
CALAMAR	0.075	0.01	BAJA	MIRAFLORES	0.05	0.01	BAJA

**DEPARTAMENTO DE HUILA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
NEIVA	0.30	0.04	ALTA	OPORAPA	0.35	0.04	ALTA
ACEVEDO	0.30	0.03	ALTA	PAICOL	0.35	0.04	ALTA
AGRADO	0.35	0.04	ALTA	PALERMO	0.30	0.04	ALTA
AIPE	0.30	0.04	ALTA	PALESTINA	0.35	0.04	ALTA
ALGECIRAS	0.30	0.03	ALTA	PITAL	0.35	0.04	ALTA
ALTAMIRA	0.35	0.04	ALTA	PITALITO	0.35	0.04	ALTA
BARAYA	0.30	0.04	ALTA	RIVERA	0.30	0.04	ALTA
CAMPOALEGRE	0.30	0.04	ALTA	SALADOBLANCO	0.35	0.04	ALTA
COLOMBIA	0.30	0.04	ALTA	SAN AGUSTIN	0.35	0.04	ALTA
ELIAS	0.35	0.04	ALTA	SANTA MARIA	0.25	0.04	ALTA
GARZON	0.30	0.03	ALTA	SUAZA	0.30	0.03	ALTA
GIGANTE	0.35	0.04	ALTA	TARQUI	0.35	0.04	ALTA
GUADALUPE	0.30	0.03	ALTA	TESALIA	0.35	0.04	ALTA
HOBO	0.30	0.04	ALTA	TELLO	0.30	0.04	ALTA
IQUIRA	0.30	0.04	ALTA	TERUEL	0.30	0.04	ALTA
ISNOS	0.35	0.04	ALTA	TIMANA	0.35	0.04	ALTA
LA ARGENTINA	0.35	0.04	ALTA	VILLAVIEJA	0.30	0.04	ALTA
LA PLATA	0.35	0.04	ALTA	YAGUARA	0.30	0.04	ALTA
NATAGA	0.30	0.04	ALTA				

**DEPARTAMENTO DE MAGDALENA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
SANTA MARTA	0.15	0.02	INTERMEDIA	PIVIJAY	0.10	0.02	BAJA
ARACATACA	0.10	0.02	BAJA	PLATO	0.10	0.02	BAJA
ARIGUANI	0.10	0.02	BAJA	PUEBLOVIEJO	0.10	0.02	BAJA
CERRO SAN ANTONIO	0.10	0.02	BAJA	REMOLINO	0.10	0.02	BAJA
CHIVOLO	0.10	0.02	BAJA	RETEN	0.10	0.02	BAJA
CIENAGA	0.10	0.02	BAJA	SALAMINA	0.10	0.02	BAJA
EL BANCO	0.10	0.02	BAJA	SAN SEBASTIAN DE BUENAVISTA	0.10	0.02	BAJA
EL DIFICIL	0.10	0.02	BAJA	SAN ZENON	0.10	0.02	BAJA

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

EL PINON	0.10	0.02	BAJA	SANTA ANA	0.10	0.02	BAJA
FUNDACION	0.10	0.02	BAJA	SITIONUEVO	0.10	0.02	BAJA
GUAMAL	0.10	0.02	BAJA	TENERIFE	0.10	0.02	BAJA
PEDRAZA	0.10	0.02	BAJA				

**DEPARTAMENTO DE META**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
VILLAVICENCIO	0.30	0.03	ALTA	LA URIBE	0.30	0.03	ALTA
ACACIAS	0.30	0.03	ALTA	LEJANIAS	0.25	0.03	ALTA
BARRANCA DE UPIA	0.20	0.03	INTERMEDIA	PUERTO CONCORDIA	0.10	0.01	BAJA
CABUYARO	0.15	0.02	INTERMEDIA	PUERTO GAITAN	0.10	0.02	BAJA
CASTILLA LA NUEVA	0.25	0.03	ALTA	PUERTO LOPEZ	0.15	0.02	INTERMEDIA
CUMARAL	0.25	0.03	ALTA	PUERTO LLERAS	0.10	0.02	BAJA
EL CALVARIO	0.30	0.03	ALTA	PUERTO RICO	0.10	0.02	BAJA
EL CASTILLO	0.25	0.03	ALTA	RESTREPO	0.30	0.03	ALTA
EL DORADO	0.20	0.03	INTERMEDIA	SAN CARLOS GUAROA	0.15	0.02	INTERMEDIA
FUENTE DE ORO	0.20	0.03	INTERMEDIA	SAN JUAN DE ARAMA	0.20	0.03	INTERMEDIA
GRANADA	0.20	0.03	INTERMEDIA	SAN JUANITO	0.30	0.03	ALTA
GUAMAL	0.30	0.03	ALTA	SAN LUIS DE CUBARRAL	0.30	0.03	ALTA
MAPIRIPAN	0.075	0.01	BAJA	SAN MARTIN	0.25	0.03	ALTA
MESETAS	0.25	0.03	ALTA	VISTA HERMOSA	0.15	0.02	INTERMEDIA
LA MACARENA	0.10	0.02	BAJA				

**DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
PASTO	0.30	0.04	ALTA	LA LLANADA	0.30	0.04	ALTA
ALBAN	0.30	0.04	ALTA	LA UNION	0.30	0.04	ALTA
ALDANA	0.30	0.04	ALTA	LA TOLA	0.40	0.06	ALTA
ANCUYA	0.30	0.04	ALTA	LEIVA	0.25	0.04	ALTA
ARBOLEDA	0.30	0.04	ALTA	LINARES	0.30	0.04	ALTA
BARBACOAS	0.40	0.06	ALTA	LOS ANDES	0.25	0.04	ALTA
BELEN	0.30	0.04	ALTA	MAGUI	0.40	0.06	ALTA
BUESACO	0.30	0.04	ALTA	MALLAMA	0.30	0.05	ALTA
COLON	0.30	0.04	ALTA	MOSQUERA	0.40	0.06	ALTA
CONSACA	0.30	0.04	ALTA	OLAYA HERRERA	0.40	0.06	ALTA
CONTADERO	0.30	0.04	ALTA	OSPINA	0.30	0.04	ALTA
CORDOBA	0.35	0.04	ALTA	POLICARPA	0.25	0.04	ALTA
CUASPUD	0.30	0.04	ALTA	POTOSI	0.35	0.04	ALTA
CUMBAL	0.30	0.05	ALTA	PROVIDENCIA	0.30	0.04	ALTA
CUMBITARA	0.25	0.04	ALTA	PUERRES	0.35	0.04	ALTA
CHACHAGUI	0.30	0.04	ALTA	PUPIALES	0.30	0.04	ALTA
EL CHARCO	0.40	0.06	ALTA	RICAUARTE	0.40	0.06	ALTA
EL ROSARIO	0.25	0.04	ALTA	ROBERTO PAYAN	0.40	0.06	ALTA
EL TABLON	0.30	0.04	ALTA	SAMANIEGO	0.30	0.04	ALTA
EL TAMBO	0.30	0.04	ALTA	SANDONA	0.30	0.04	ALTA
FRANCISCO PIZARRO	0.40	0.06	ALTA	SAN BERNARDO	0.30	0.04	ALTA
FUNES	0.30	0.04	ALTA	SAN LORENZO	0.30	0.04	ALTA
GUACHAVES	0.30	0.04	ALTA	SAN PABLO	0.30	0.04	ALTA
GUACHUCAL	0.30	0.04	ALTA	SAN PEDRO DE CARTAGO	0.30	0.04	ALTA
GUAITARILLA	0.30	0.04	ALTA	SANTA BARBARA	0.40	0.06	ALTA
GUALMATAN	0.30	0.04	ALTA	SANTACRUZ	0.30	0.04	ALTA
ILES	0.30	0.04	ALTA	SAPUYES	0.30	0.04	ALTA
IMUES	0.30	0.04	ALTA	TAMINANGO	0.25	0.04	ALTA
IPIALES	0.30	0.04	ALTA	TANGUA	0.30	0.04	ALTA
ISCUANDE	0.40	0.06	ALTA	TUMACO	0.40	0.06	ALTA
LA CRUZ	0.30	0.04	ALTA	TUQUERRES	0.30	0.04	ALTA
LA FLORIDA	0.30	0.04	ALTA	YACUANQUER	0.30	0.04	ALTA

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

**DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
CUCUTA	0.30	0.03	ALTA	LA PLAYA	0.20	0.03	INTERMEDIA
ABREGO	0.20	0.03	INTERMEDIA	LOS PATIOS	0.30	0.03	ALTA
ARBOLEDAS	0.30	0.03	ALTA	LOURDES	0.30	0.03	ALTA
BOCHALEMA	0.30	0.04	ALTA	MUTISCUA	0.30	0.04	ALTA
BUCARASICA	0.30	0.03	ALTA	OCANA	0.15	0.03	INTERMEDIA
CACOTA	0.30	0.04	ALTA	PAMPLONA	0.30	0.04	ALTA
CACHIRA	0.25	0.03	ALTA	PAMPLONITA	0.30	0.04	ALTA
CHINACOTA	0.30	0.04	ALTA	PUERTO SANTANDER	0.30	0.04	ALTA
CHITAGA	0.30	0.04	ALTA	RAGONVALIA	0.30	0.04	ALTA
CONVENCION	0.15	0.03	INTERMEDIA	SALAZAR	0.30	0.03	ALTA
CUCUTILLA	0.30	0.04	ALTA	SAN CALIXTO	0.20	0.03	INTERMEDIA
DURANIA	0.30	0.03		SAN CAYETANO	0.30	0.03	ALTA
EL CARMEN	0.15	0.03	INTERMEDIA	SANTIAGO	0.30	0.03	ALTA
EL TARRA	0.20	0.03	INTERMEDIA	SARDINATA	0.30	0.03	ALTA
EL ZULIA	0.30	0.03	ALTA	SILOS	0.30	0.04	ALTA
GRAMALOTE	0.30	0.03	ALTA	TEORAMA	0.15	0.03	INTERMEDIA
HACARI	0.25	0.03	ALTA	TIBU	0.30	0.03	ALTA
HERRAN	0.30	0.04	ALTA	TOLEDO	0.30	0.04	ALTA
LABATECA	0.30	0.04	ALTA	VILLA CARO	0.25	0.03	ALTA
LA ESPERANZA	0.25	0.03	ALTA	VILLA DEL ROSARIO	0.30	0.03	ALTA

**DEPARTAMENTO DE PUTUMAYO**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
MOCOA	0.30	0.04	ALTA	PUERTO GUZMAN	0.10	0.02	BAJA
COLON	0.35	0.04	ALTA	PUERTO LEGUIZAMO	0.05	0.01	BAJA
LA DORADA	0.20	0.03	INTERMEDIA	SIBUNDOY	0.35	0.04	ALTA
LA HORMIGA	0.20	0.03	INTERMEDIA	SAN FRANCISCO	0.35	0.04	ALTA
ORITO	0.30	0.04	ALTA	SANTIAGO	0.35	0.04	ALTA
PUERTO ASIS	0.15	0.03	INTERMEDIA	VALLE GUAMUEZ	0.20	0.03	INTERMEDIA
PUERTO CAICEDO	0.20	0.03	INTERMEDIA	VILLAGARZON	0.30	0.04	ALTA

**DEPARTAMENTO DE QUINDIO**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
ARMENIA	0.25	0.04	ALTA	GENOVA	0.20	0.04	INTERMEDIA
BUENAVISTA	0.20	0.04	INTERMEDIA	LA TEBAIDA	0.25	0.04	ALTA
CALARCA	0.25	0.04	ALTA	MONTENEGRO	0.25	0.04	ALTA
CIRCASIA	0.25	0.04	ALTA	PIJAO	0.20	0.04	INTERMEDIA
CORDOBA	0.20	0.04	INTERMEDIA	QUIMBAYA	0.25	0.04	ALTA
FILANDIA	0.25	0.04	ALTA	SALENTO	0.20	0.04	INTERMEDIA

**DEPARTAMENTO DE RISARALDA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
PEREIRA	0.25	0.04	ALTA	LA VIRGINIA	0.25	0.04	ALTA
APIA	0.25	0.05	ALTA	MARSELLA	0.25	0.04	ALTA
BALBOA	0.25	0.05	ALTA	MISTRATO	0.25	0.05	ALTA
BELEN DE UMBRIA	0.25	0.05	ALTA	PUEBLO RICO	0.30	0.05	ALTA
DOS QUEBRADAS	0.25	0.04	ALTA	QUINCHIA	0.25	0.04	ALTA
GUATICA	0.25	0.04	ALTA	SANTA ROSA DE CABAL	0.25	0.04	ALTA
LA CELIA	0.25	0.05	ALTA	SANTUARIO	0.25	0.05	ALTA

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

**DEPARTAMENTO DE SAN ANDRES Y PROVIDENCIA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
SAN ANDRES ISLA	0.10	0.01	BAJA	ISLA DE PROVIDENCIA	0.10	0.01	BAJA

**SANTA FE DE BOGOTA, DISTRITO CAPITAL**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
SANTA FE DE BOGOTA	0.20	0.04	INTERMEDIA				

**DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
BUCARAMANGA	0.25	0.04	ALTA	LA BELLEZA	0.20	0.04	INTERMEDIA
AGUADA	0.20	0.05	INTERMEDIA	LANDAZURI	0.20	0.04	INTERMEDIA
ALBANIA	0.20	0.04	INTERMEDIA	LA PAZ	0.20	0.04	INTERMEDIA
ARATOCA	0.25	0.04	ALTA	LEBRIJA	0.25	0.04	ALTA
BARBOSA	0.20	0.04	INTERMEDIA	LOS SANTOS	0.25	0.04	ALTA
BARICHARA	0.25	0.05	ALTA	MACARAVITA	0.25	0.04	ALTA
BARRANCABERMEJA	0.15	0.04	INTERMEDIA	MALAGA	0.25	0.04	ALTA
BETULIA	0.25	0.05	ALTA	MATANZA	0.25	0.04	ALTA
BOLIVAR	0.20	0.04	INTERMEDIA	MOGOTES	0.25	0.04	ALTA
CABRERA	0.20	0.05	INTERMEDIA	MOLAGAVITA	0.25	0.04	ALTA
CALIFORNIA	0.25	0.04	ALTA	OCAMONTE	0.25	0.04	ALTA
CAPITANEJO	0.30	0.04	ALTA	OIBA	0.20	0.05	INTERMEDIA
CARCASI	0.30	0.04	ALTA	ONZAGA	0.25	0.04	ALTA
CEPITA	0.25	0.04	ALTA	PALMAR	0.20	0.05	INTERMEDIA
CERRITO	0.25	0.04	ALTA	PALMAS SOCORRO	0.20	0.05	INTERMEDIA
CHARALA	0.25	0.04	ALTA	PARAMO	0.25	0.05	ALTA
CHARTA	0.25	0.04	ALTA	PIEDECUESTA	0.25	0.04	ALTA
CHIMA	0.20	0.05	INTERMEDIA	PINCHOTE	0.25	0.05	ALTA
CHIPATA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PUENTE NACIONAL	0.20	0.04	INTERMEDIA
CIMITARRA	0.15	0.04	INTERMEDIA	PUERTO PARRA	0.15	0.04	INTERMEDIA
CONCEPCION	0.25	0.04	ALTA	PUERTO WILCHES	0.15	0.03	INTERMEDIA
CONFINES	0.20	0.05	INTERMEDIA	RIONEGRO	0.25	0.04	ALTA
CONTRATACION	0.20	0.05	INTERMEDIA	SABANA DE TORRES	0.20	0.04	INTERMEDIA
COROMORO	0.25	0.04	ALTA	SAN ANDRES	0.25	0.04	ALTA
CURITI	0.25	0.04	ALTA	SAN BENITO	0.20	0.04	INTERMEDIA
EL CARMEN DE CHUCURI	0.20	0.05	INTERMEDIA	SAN GIL	0.25	0.05	ALTA
EL GUACAMAYO	0.20	0.05	INTERMEDIA	SAN JOAQUIN	0.25	0.04	ALTA
EL PENON	0.20	0.04	INTERMEDIA	SAN JOSE DE MIRANDA	0.25	0.04	ALTA
EL PLAYON	0.25	0.04	ALTA	SAN MIGUEL	0.25	0.04	ALTA
ENCINO	0.25	0.04	ALTA	SAN VICENTE DE CHUCURI	0.20	0.05	INTERMEDIA
ENCISO	0.25	0.04	ALTA	SANTA BARBARA	0.25	0.04	ALTA
FLORIAN	0.20	0.04	INTERMEDIA	SANTA HELENA DEL OPON	0.20	0.04	INTERMEDIA
FLORIDABLANCA	0.25	0.04	ALTA	SIMACOTA	0.20	0.05	INTERMEDIA
GALAN	0.20	0.05	INTERMEDIA	SOCORRO	0.20	0.05	INTERMEDIA
GAMBITA	0.20	0.04	INTERMEDIA	SUAITA	0.20	0.05	INTERMEDIA
GIRON	0.25	0.04	ALTA	SUCRE	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUA CA	0.25	0.04	ALTA	SURATA	0.25	0.04	ALTA
GUADALUPE	0.20	0.05	INTERMEDIA	TONA	0.25	0.04	ALTA
GUAPOTA	0.20	0.05	INTERMEDIA	VALLE DE SAN JOSE	0.25	0.05	ALTA
GUAVATA	0.20	0.04	INTERMEDIA	VELEZ	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUEPSA	0.20	0.04	INTERMEDIA	VETAS	0.25	0.04	ALTA
HATO	0.20	0.05	INTERMEDIA	VILLANUEVA	0.25	0.05	ALTA
JESUS MARIA	0.20	0.04	INTERMEDIA	ZAPATOCA	0.25	0.05	ALTA
JORDAN	0.25	0.04	ALTA				

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

**DEPARTAMENTO DE SUCRE**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
SINCELEJO	0.15	0.02	INTERMEDIA	OVEJAS	0.10	0.02	BAJA
BUENAVISTA	0.10	0.02	BAJA	PALMITO	0.15	0.02	INTERMEDIA
CAIMITO	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAMPUES	0.15	0.02	INTERMEDIA
COLOSO	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAN BENITO ABAD	0.10	0.02	BAJA
COROZAL	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAN JUAN DE BETULIA	0.15	0.02	INTERMEDIA
CHALAN	0.15	0.02	INTERMEDIA	SAN MARCOS	0.15	0.02	INTERMEDIA
GALERAS	0.10	0.02	BAJA	SAN ONOFRE	0.15	0.02	INTERMEDIA
GUARANDA	0.15	0.02	BAJA	SAN PEDRO	0.10	0.02	BAJA
LA UNION	0.15	0.02	INTERMEDIA	SINCE	0.10	0.02	BAJA
LOS PALMITOS	0.15	0.02	INTERMEDIA	SUCRE	0.10	0.02	BAJA
MAJAGUAL	0.10	0.02	BAJA	TOLU	0.15	0.02	INTERMEDIA
MORROA	0.15	0.02	INTERMEDIA	TOLUVIEJO	0.15	0.02	INTERMEDIA

**DEPARTAMENTO DE TOLIMA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
IBAGUE	0.20	0.04	INTERMEDIA	LERIDA	0.15	0.04	INTERMEDIA
ALPUJARRA	0.30	0.04	ALTA	LIBANO	0.15	0.04	INTERMEDIA
ALVARADO	0.15	0.04	INTERMEDIA	MARIQUITA	0.15	0.03	INTERMEDIA
AMBALEMA	0.15	0.04	INTERMEDIA	MELGAR	0.20	0.04	INTERMEDIA
ANZOATEGUI	0.20	0.04	INTERMEDIA	MURILLO	0.20	0.04	INTERMEDIA
ARMERO	0.15	0.04	INTERMEDIA	NATAGAIMA	0.25	0.04	ALTA
ATACO	0.20	0.04	INTERMEDIA	ORTEGA	0.20	0.04	INTERMEDIA
CAJAMARCA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PIEDRAS	0.15	0.04	INTERMEDIA
CARMEN DE APICALA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PLANADAS	0.20	0.04	INTERMEDIA
CASABIANCA	0.20	0.04	INTERMEDIA	PRADO	0.25	0.04	ALTA
CHAPARRAL	0.20	0.04	INTERMEDIA	PURIFICACION	0.20	0.04	INTERMEDIA
COELLO	0.20	0.04	INTERMEDIA	RIOBLANCO	0.20	0.04	INTERMEDIA
COYAMA	0.20	0.04	INTERMEDIA	RONCESVALLES	0.20	0.04	INTERMEDIA
CUNDAY	0.20	0.04	INTERMEDIA	ROVIRA	0.20	0.04	INTERMEDIA
DOLORES	0.25	0.04	ALTA	SALDANA	0.20	0.04	INTERMEDIA
ESPINAL	0.20	0.04	INTERMEDIA	SAN ANTONIO	0.20	0.04	INTERMEDIA
FALAN	0.15	0.03	INTERMEDIA	SAN LUIS	0.20	0.04	INTERMEDIA
FLANDES	0.20	0.04	INTERMEDIA	SANTA ISABEL	0.20	0.04	INTERMEDIA
FRESNO	0.15	0.03	INTERMEDIA	SUAREZ	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUAMO	0.20	0.04	INTERMEDIA	VALLE DE SAN JUAN	0.20	0.04	INTERMEDIA
GUAYABAL	0.15	0.04	INTERMEDIA	VENA DILLO	0.15	0.04	INTERMEDIA
HERVEO	0.20	0.04	INTERMEDIA	VILLAHERMOSA	0.20	0.04	INTERMEDIA
HONDA	0.15	0.03	INTERMEDIA	VILLARRICA	0.25	0.04	ALTA
ICONONZO	0.20	0.04	INTERMEDIA				

**DEPARTAMENTO DE VAUPES**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
MITU	0.05	0.005	BAJA	TARAIRA	0.05	0.005	BAJA
CARURU	0.05	0.005	BAJA				

**DEPARTAMENTO DE VALLE DEL CAUCA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
CALI	0.25	0.04	ALTA	JAMUNDI	0.25	0.04	ALTA
ALCALA	0.25	0.04	ALTA	LA CUMBRE	0.25	0.04	ALTA
ANDALUCIA	0.25	0.04	ALTA	LA UNION	0.25	0.04	ALTA
ANSERMANUEVO	0.25	0.04	ALTA	LA VICTORIA	0.25	0.04	ALTA
ARGELIA	0.25	0.05	ALTA	OBANDO	0.25	0.04	ALTA
BOLIVAR	0.25	0.04	ALTA	PALMIRA	0.25	0.04	ALTA
BUENAVENTURA	0.40	0.06	ALTA	PRADERA	0.25	0.04	ALTA

**NSR-98 - Apéndice A-3 - Valores de  $A_a$  y  $A_d$  y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos**

BUGA	0.25	0.04	ALTA	RESTREPO	0.25	0.04	ALTA
BUGALAGRANDE	0.25	0.04	ALTA	RIOFRIO	0.25	0.04	ALTA
CAICEDONIA	0.25	0.04	ALTA	ROLDANILLO	0.25	0.04	ALTA
CALIMA	0.25	0.04	ALTA	SAN PEDRO	0.25	0.04	ALTA
CANDELARIA	0.25	0.04	ALTA	SEVILLA	0.25	0.04	ALTA
CARTAGO	0.25	0.04	ALTA	TORO	0.25	0.04	ALTA
DAGUA	0.25	0.04	ALTA	TRUJILLO	0.25	0.04	ALTA
EL AGUILA	0.25	0.05	ALTA	TULUA	0.25	0.04	ALTA
EL CAIRO	0.25	0.05	ALTA	ULLOA	0.25	0.04	ALTA
EL CERRITO	0.25	0.04	ALTA	VERSALLES	0.25	0.05	ALTA
EL DARIEN	0.25	0.04	ALTA	VIJES	0.25	0.04	ALTA
EL DOVIO	0.25	0.04	ALTA	YOTOCO	0.25	0.04	ALTA
FLORIDA	0.25	0.04	ALTA	YUMBO	0.25	0.04	ALTA
GINEBRA	0.25	0.04	ALTA	ZARZAL	0.25	0.04	ALTA
GUACARI	0.25	0.04	ALTA				

**DEPARTAMENTO DE VICHADA**

MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA	MUNICIPIO	$A_a$	$A_d$	ZONA DE AMENAZA SISMICA
PUERTO CARRENO	0.05	0.01	BAJA	CUMARIBO	0.05	0.01	BAJA
LA PRIMAVERA	0.075	0.01	BAJA				

