



MINISTERIO DE TRANSPORTE E
INFRAESTRUCTURA



NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA



JUNTA DE ANDALUCIA

PROGRAMA DE COOPERACION INTERNACIONAL

ED-MTI 140622



Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional

El Pueblo, Presidente!

Página intencionalmente en blanco

Página intencionalmente en blanco



Ministerio de Transporte e Infraestructura
MTI
Despacho del Ministro

RESOLUCION MINISTERIAL N° 242-2021

El **MINISTRO DE TRANSPORTE E INFRAESTRUCTURA**, en uso de las facultades conferidas en la Ley N° 290 “Ley de Organización, Competencia y Procedimientos del Poder Ejecutivo”, Decreto N° 71-98 “Reglamento de la Ley N° 290” y sus reformas.

CONSIDERANDO

I

Que el **Reglamento de la Construcción que rige en el Territorio Nacional** data desde el 18 de mayo de 1983, publicado en La Gaceta, Diario Oficial N°s 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186 y 187 con fechas 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16 y 17 de agosto de 1983 respectivamente y fue actualizado mediante Resolución Ministerial 01-2007, publicada en La Gaceta, Diario Oficial N° 45 del cinco de marzo del año dos mil siete denominándolo Reglamento Nacional de Construcción RNC-07.

II

Que los costos de construcción y mantenimiento deben ser razonables con relación al comportamiento Sismorresistente aceptable; de tal forma que la vida útil proyectada de las edificaciones sea óptimamente alcanzada y por lo tanto, la inversión realizada cumpla con el objetivo propuesto, tanto para el dueño o inversor como para el constructor y el usuario. Que dado el avance de la ingeniería Sismorresistente y de los nuevos métodos de diseño estructural, de la nueva información geofísica y geotécnica, se hace necesaria actualizar el Reglamento vigente desde hace 14 años.

III

Que de conformidad con el artículo 4° del Reglamento Nacional de Construcción RNC-07, el Ministerio de Transporte e Infraestructura, a través de la Dirección General de Normas de Construcción y Desarrollo Urbano, mediante un proceso de retroalimentación con talleres de consulta, consensuado con profesionales de la ingeniería de las diferentes entidades públicas y privadas, asociaciones y gremios, y con el apoyo de la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AACID), ha actualizado el Reglamento Nacional de Construcción RNC-07, en los títulos específicos de I- DISPOSICIONES GENERALES, II-NORMAS MÍNIMAS PARA DETERMINAR CARGAS DEBIDAS A SISMO, III DISPOSICIONES DIVERSAS, IX NORMAS TÉCNICAS PARA REALIZAR ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA y LOS ANEXOS A-TABLAS DE CARGAS MUERTAS MÍNIMAS, B-FACTORES Q SEGUN EL TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL, C-ISOACELERACIONES Y D-EJEMPLOS DE APLICACIÓN, unificándolo en un solo documento denominado “**NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA**”

IV

Que el artículo 25 inciso g de la Ley 290 “Ley de Organización, Competencia y Procedimientos del Poder Ejecutivo”, publicado en la Gaceta, Diario Oficial N° 102, del 03 de junio de 1998, establece que es competencia del Ministerio de Transporte e Infraestructura: “Formular, proponer y supervisar la aplicación de las normas técnicas nacionales del sector de la construcción, vivienda y desarrollo urbano, éste último en





Ministerio de Transporte e Infraestructura
MTI
Despacho del Ministro

coordinación con los Municipios y además las del sector de la industria de la construcción en coordinación con el Ministerio de Fomento, Industria y Comercio”.

POR TANTO

En uso de las facultades que le confieren las Leyes de la República de Nicaragua, esta Autoridad Ministerial;

ACUERDA

PRIMERO: Aprobar la “**NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA**” conteniendo todas las actualizaciones realizadas al Reglamento Nacional de la Construcción, RNC-07, en sus títulos mencionados en el considerando III de la presente resolución.

SEGUNDO: Queda en plena vigencia el Reglamento Nacional de la Construcción, RNC-07 para el resto de departamentos del país.

TERCERO: La presente resolución entrará en vigencia ciento ochenta días después de su publicación en La Gaceta, Diario Oficial. Publíquese.

Dado en la ciudad de Managua, República de Nicaragua, a las nueve de la mañana, del día martes nueve de noviembre del dos mil veintiuno.


General. (R) **Oscar Mojica Obregón**
Ministro

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)

Presentación

El **Ministerio de Transporte e Infraestructura**, se complace en presentar al pueblo de Nicaragua en general, a la comunidad académica y al sector de infraestructura y construcción, la presente “**Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua**”, que nace como una iniciativa de la Dirección General de Normas de la Construcción y Desarrollo Urbano (DGNCDU) del MTI.

El Reglamento Nacional de la Construcción **RNC-07** que promulgó el MTI en el año 2007, sirvió de base y referencia al proceso de actualización y formulación de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua en los títulos siguientes: I-DISPOSICIONES GENERALES, II-NORMAS MÍNIMAS PARA DETERMINAR CARGAS DEBIDAS A SISMO, III-DISPOSICIONES DIVERSAS, IX-NORMAS TÉCNICAS PARA REALIZAR ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA y LOS ANEXOS A-TABLAS DE CARGAS MUERTAS MÍNIMAS, B-FACTORES Q SEGÚN EL TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL, C-ISOACELERACIONES Y D-EJEMPLOS DE APLICACIÓN.

La **NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA**, es el producto de un profundo y amplio proceso de estudios de campo en 18 sitios de la ciudad, para calcular la aceleración del suelo y obtener un espectro de diseño seguro en la capital. Posteriormente, realizamos un intenso proceso de consultas con la comunidad de ingenieros y arquitectos, universidades, asociaciones gremiales e instituciones públicas del Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN) dedicadas al diseño y construcción de estructuras. Al final, se efectuaron dos presentaciones técnicas donde participaron más de trecientos ingenieros civiles y arquitectos, cuyos valiosos aportes están considerados e incorporados en este documento.

Quedan vigentes del RNC-07, hasta sus próximas actualizaciones, los títulos que incluyen: IV-NORMAS MÍNIMAS PARA DETERMINAR CARGAS DEBIDAS A VIENTO, VI-NORMAS MÍNIMAS GENERALES PARA MADERA y el ANEXO C REFERENTE A ISOTACAS DE VIENTO.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), como institución del GRUN, agradece a la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AACID), a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) a través de la Facultad de Ciencias e Ingeniería, y al Comité Técnico de Normas por su colaboración y aportes en la actualización de este reglamento y de singular importancia para la sociedad nicaragüense. Esperamos que esta norma sea un instrumento decisivo en la Prevención y GESTIÓN DE RIESGOS FRENTE DESASTRES y por ende contribuya a la Reducción de la Vulnerabilidad y el aumento de la resiliencia.


General (R) Oscar Mojica Obregón
Ministro

Ministerio de Transporte e Infraestructura

INDICE

1	Introducción	1
2	Alcances y Limitaciones	5
2.1.	Alcance	5
2.2.	Limitaciones	6
3	Definiciones y notación	7
3.1	Definiciones	7
3.2	Notaciones	15
4	Normativas de Referencias	20
5	Clasificación de las estructuras y de la amenaza sísmica	22
5.1	Clasificación por grupo de Importancia	22
5.2	Factor de Importancia	23
5.3	Clasificación por categoría de diseño sísmico	26
5.4	Clasificación por Irregularidad	27
5.4.1	Factores de Irregularidades en planta	29
5.4.2	Factores de Irregularidades Verticales	30
5.4.3	Limitaciones y requerimientos adicionales para sistema con irregularidades extremas	31
5.5	Clasificación por material y sistema estructural	33
5.5.1	Tipos de sistemas estructurales	38
5.5.2	Elección y limitación del sistema estructural	39
5.5.3	Combinación de sistemas estructurales	40
5.5.4	Sistemas estructurales alternativos	40
5.6	Objetivos de desempeño	40
5.6.1	Probabilidad de excedencia vs Periodo de retorno	41
5.6.2	Relación entre aceleraciones del suelo y periodos de retorno	41
5.6.3	Verificación de los objetivos de desempeño	41
6	Parámetros de la acción sísmica	43
6.1	Amenaza sísmica	43
6.2	Zonificación sísmica para Nicaragua	44
6.3	Clasificación de sitio	46
6.3.1	Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico	46
6.4	Factores de amplificación por tipo de suelo F_{as}	48
6.5	Factor de ajuste espectral por comportamiento de los suelos	48
6.6	Factor de comportamiento sísmico del sistema estructural R_o	49
6.7	Espectro de respuesta elástico	49
6.8	Espectro de respuesta elástica para movimientos verticales	51
6.9	Espectro de diseño reducido	51
6.10	Verificación de la seguridad	52
6.11	Representación alternativa de la acción sísmica	53
6.11.1	Representación del espectro de potencia	53
6.11.2	Acelerogramas reales y/o artificiales	53
7	Cargas y Combinaciones	54
7.1	Cargas variables	54
7.1.1	Cargas variables Tabla 7.1.1 Cargas Variables Unitarias Minimas kg/m^2	55
7.1.2	Casos especiales	57
7.1.3	Cargas Variables Móviles	58
7.1.3.1	Vehículos y camiones	58
7.1.3.2	Puentes - Grúa	58

7.1.3.3	Tecles Monorrieles.....	59
7.1.3.4	Ascensores, Montacargas y Escaleras Mecánicas	59
7.1.3.5	Impacto de Motores	59
7.1.3.6	Asientos en lugares de Auditorios.....	60
7.1.4	Presiones de tierra y Presión Hidrostática.....	60
7.1.5	Carga variable en techos y pisos livianos.....	61
7.1.5.1	Techo liviano	61
7.1.5.2	Entrepisos livianos	61
7.1.6	Reducción de cargas variables	62
7.1.6.1	Cargas variables de 500 Kg/m ² o menores.....	62
7.1.6.2	Cargas variables mayores de 500 Kg/m ²	62
7.2	Cargas de vientos	63
7.3	Cargas debidas a ceniza volcánica.....	63
7.4	Cargas permanentes	63
7.5	Combinaciones de carga para diseño por resistencia LRFD.....	67
7.5.1	Combinaciones básicas LRFD	67
7.5.2	Combinaciones de carga, incluida la carga de inundación LRFD.....	68
7.5.3	Combinaciones de carga, incluidas las fuerzas y efectos de autorestrictivas LRFD..	68
7.5.4	Combinaciones básicas con efectos de carga sísmica LRFD	69
7.6	Combinaciones de carga para un diseño por esfuerzo admisibles ASD	70
7.6.1	Combinaciones de carga para cargas no especificadas	70
7.6.2	Combinaciones básicas ASD	70
7.6.3	Combinaciones de carga, incluida la carga de inundación ASD.....	71
7.6.4	Combinaciones de carga, incluidas las fuerzas y efectos de auto restrictivas ASD ..	72
7.6.5	Combinaciones básicas con efectos de carga sísmica ASD.....	72
7.7	Combinaciones de carga para eventos extraordinarios.....	74
7.7.1	Aplicabilidad	74
7.7.2	Combinaciones de carga para eventos extraordinarios	74
7.7.2.1	Capacidad	74
7.7.2.2	Capacidad residual.....	74
7.7.3	Requisitos de estabilidad	75
7.8	Componentes de las cargas sísmicas para el diseño	75
7.8.1	Efecto de carga sísmica.....	75
7.8.1.1	Efecto de carga sísmica horizontal.....	76
7.8.1.2	Efecto de carga sísmica vertical	76
7.8.2	Efecto de la carga sísmica, incluida la sobre resistencia.....	77
7.8.2.1	Efecto de carga sísmica horizontal con sobrerresistencia	78
8	Metodo de análisis sísmicos.....	79
8.1	Generalidades	79
8.2	Lineales.....	79
8.2.1	Estáticos lineales	80
8.2.1.1	Limitación del método FLE	81
8.2.1.2	Fuerza de corte basal.....	81
8.2.1.3	Coeficiente sísmico C_s	81
8.2.1.4	Coeficiente sísmico mínimo.....	82
8.2.1.5	Período fundamental de la estructura T	82
8.2.1.6	Período fundamental aproximado T_a	83
8.2.1.7	Distribución vertical de las fuerzas sísmicas	84
8.2.1.8	Distribución de fuerzas horizontales.....	85
8.2.1.9	Efectos bidireccionales	86

8.2.2	Dinámicos lineales.....	86
8.2.2.1	Método Dinámico Modal Espectral (DME)	86
8.2.2.2	Número de modos.....	87
8.2.2.3	Parámetros de respuesta modal.....	87
8.2.2.4	Efectos bidireccionales.....	88
8.2.2.5	Parámetros de respuesta combinada	88
8.2.2.6	Valores del cortante basal modal y cortante estático.....	88
8.2.2.7	Escalado de fuerzas	88
8.2.2.8	Escalado de derivas	88
8.3	No lineales.....	89
8.3.1	Estáticos no lineal.....	89
8.3.1.1	Modelo matemático para análisis no lineal.....	89
8.3.1.2	Análisis del método estático no lineal	90
8.3.1.3	Verificaciones y Criterios de Aceptación.....	91
8.3.2	Dinámicos no lineal	92
8.3.2.1	Modelo matemático	93
8.3.2.2	Movimientos Sísmicos	93
8.3.2.3	Criterios de aceptación.....	93
8.4	Interacción Suelo - Estructura	94
8.5	Requerimientos para estructuras con aislamiento sísmico	94
8.6	Requerimientos para estructuras con disipadores de energía	96
9	Criterios de modelado estructural.....	98
9.1	General Criterios de modelado estructural	98
9.2	Tipos de diafragmas	99
9.2.1	Diafragma flexible.....	100
9.2.2	Diafragma rígido	100
9.3	Flexibilidad del diafragma.....	101
9.4	Diafragmas con aberturas, entrantes y saliente	101
9.5	Efectos P- Δ	103
9.6	Peso sísmico efectivo	104
9.7	Amplificación por momento torsional accidental	105
9.8	Torsión de piso y excentricidad accidental	106
10	Deformaciones y derivas de piso	107
10.1	Generalidades.....	107
10.2	Determinación de la deriva de piso (Δi)	107
10.3	Período para el cálculo de las derivas de piso	110
10.4	Distorsión de piso y sus limitaciones.....	110
10.5	Separación entre edificios.....	111
11	Instrumentación Sísmica	113
11.1	Generalidades.....	113
11.2	Plan de instrumentación	113
11.3	Construcciones a ser instrumentadas	114
11.4	Instrumentación Sísmica	114
11.4.1	Objetivo	115
11.4.2	Tipo de instrumento	115
11.4.3	Ubicación y número mínimo de sensores.....	116
11.4.4	Instalación y mantenimiento	116
11.4.5	Uso de la información	116
11.4.6	Responsabilidades	117
12	Requisitos para el aseguramiento de la calidad del diseño y construcción de las	

edificaciones sismorresistentes	118
12.1 Requisitos para la licencia de operación de diseñador estructural y especialidades General	118
12.2 Especialista facultado para diseñar	118
12.3 Obligaciones de ingenieros revisores en el diseño estructural	118
12.4 Fiscalización de la autoridad competente	119
12.5 Documentación estandarizada	120
12.6 Documentación mínima requerida.....	120
12.6.1 Planos estructurales	120
12.6.2 Memoria de cálculo estructural	121
13 Disposiciones técnicas para estudio de sitio	122
13.1 Estudios geológicos.....	122
13.2 Estudios de amenaza sísmica	123
13.3 Estudios geofísicos	124
13.4 Estudios geotécnicos.....	124
13.4.1 Requisitos generales	124
13.4.2 Aspectos del estudio Geotécnico	125
13.4.3 Tipos de estudios	126
13.4.4 Requisitos mínimos de la investigación geotécnica.....	129
13.5 Estudios sísmicos (Espectro propio para diseño de sitio)	135
13.5.1 Análisis de respuesta del suelo (Espectro propio para diseño de sitio).....	135
13.5.2 Registros sísmicos para análisis de estructura	136
14 ANEXOS	137
14.1 Mapa de isoaceleraciones.....	137
14.2 Tabla de valores de a_0 PGA 475 años	138
14.3 Mapa de Vs30 para Managua.....	139
14.4 Tabla de sitios con sus respectivas coordenadas y Vs30	140
14.5 Mapa de periodos de vibración de los suelos de Managua.....	141
14.6 Mapa de periodos de vibración de los suelos de Managua.....	142

ILUSTRACIONES

Figura 6.2 1 - Mapa de Zonificación Sísmica para Nicaragua	44
Figura 6.2 2 - Mapa de Isoaceleraciones para Nicaragua (a_0) para un período de retorno de 475 años	45
Figura 6.7-1- Espectro de respuesta elástico normalizado para las distintas zonas sísmicas .	50
Figura 6.9-1- Espectro de diseño elástico y reducido	51
Figura 8.2-1- Distribución triangular de la fuerza vertical	84
Figura 8.2-2- Análisis Modal Espectral	87
Figura 9.4-1- Esquema de cuerdas y elementos colectores para diafragmas.....	102
Figura 9.7-1- Factor de amplificación torsional, A_x	105
Figura 10.2-1-Determinación de deriva de piso	109
Figura 11.4-1- Formas modales de un muro de mampostería, obtenidas a partir de los registros reales de aceleración mediante el empleo de un software comercial	114

Página intencionalmente en blanco

Introducción

1

La actualización del Reglamento Nacional de la Construcción RNC-07 referente a la acción sísmica es un proyecto dividido en dos fases, la primera fase contempla los estudios e investigaciones para la ciudad de Managua y una segunda fase para el resto del país con el objetivo de obtener una Normativa Sismorresistente Nicaragüense NSN-001 a nivel nacional.

En esta primera fase se abordaron estudios de:

- Caracterización Geológica para la ciudad de Managua.
- Amenaza sísmica contemplando las diferentes fuentes sísmicas del país con un catálogo sísmico actualizado al 2018 y una adaptación de las fórmulas de atenuación aplicadas a Nicaragua obteniendo diferentes niveles de aceleraciones para distintos periodos de retorno.
- Geofísica realizando mediciones MASW, SPAC, HVSR y validados con el método VSP por medio del procedimiento de downhole con el objetivo de caracterizar el suelo mediante el parámetro de velocidad de onda de corte promedio V_{s30} .
- Respuesta Sísmica de Sitio mediante el método no lineal contemplando cuatro curvas dinámicas y veinte registros seleccionados y escalados para un espectro objetivo de amenaza sísmica para Managua.
- Análisis comparativo de las principales normas sísmicas de Latinoamérica.

La filosofía de diseño sísmico para esta norma radica en la categorización del diseño por sismo, contemplando diferentes niveles de amenaza para la evaluación del desempeño estructural y no estructural.

El contenido propuesto para esta Norma pretende abordar el estado del arte en el campo de la ingeniería estructural y sismorresistente, todos los avances actuales en la sismología, ingeniería sísmica, geotecnia, análisis y diseño estructural, así como las exigencias y estándares internacionales del Comité **ISO TC98**, que pretenden alcanzar a nivel internacional un correcto empleo de los códigos sísmicos. Este contenido está referido a los criterios considerados por el Comité Técnico del **Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y el Caribe** en el cual Nicaragua es miembro de la comisión técnica permanente.

Una vez contempladas ambas fases del proyecto se emitirá una resolución ministerial para la entrada en vigencia y uso obligatorio a nivel nacional. Cabe señalar que dicho documento estará sujeto a actualizaciones periódicas en función de los avances y exigencias en la comunidad científica internacional, así como las consideraciones del Comité Técnico Nacional designado por la Dirección General de Normas de la Construcción y Desarrollo Urbano del Ministerio de Transporte e Infraestructura.

Es de especial reconocimiento la colaboración recibida en esta norma que ha estado constituida durante todo este tiempo de largo trabajo por un comité técnico permanente que brindaron su tiempo y conocimiento a este proyecto de país, con ayuda de estos fue posible desarrollar un debate técnico inicial que sirvió de empuje para inspirar la identificación de nuevos contenidos y criterios que están plasmados en este documento.

El comité técnico ha estado conformado por los siguientes miembros que se citan a continuación:

PhD. Sebastián A. Delgado Carranza	- Doctor en Estructuras
PhD. Luis Montoya Coronado	- Doctor en Estructuras
MSc. Maycol C. Rugama Idiáquez	- Máster en Estructuras
MSc. Max Fariñas Pérez	- Máster en Estructuras y Sismorresistencia
MSc. Guillermo Chávez Toruño	- Máster en Estructuras
Ing. Marcel Toruño Méndez	- Especialista en Estructuras
MSc. Allan A. Mendoza Mercado	- Máster en Estructuras
MSc. Sonia Reyes López	- Máster en Estructuras
MSc. Daniel Lorio Laguna	- Máster en Estructuras

Agradecemos la gestión, administración, coordinación y asesoramiento especial al Ing. Oscar A. Escobar Castillo. Que con su ardua labor logro desarrollar este importante proyecto técnico para el país.

Así mismo agradecemos a los especialistas que participaron en la elaboración de los siguientes estudios:

Estudio de Caracterización Geológica para la ciudad de Managua

MSc. Mélida Antequera Schliz	- Máster en Geología
MSc. Maritza del Socorro Bustillo	- Máster en Geología

Estudio de Amenaza Sísmica

PhD. José Leonardo Álvarez Gómez	-Doctor en Ciencias Físicas Matemáticas
----------------------------------	--

Estudios de Geofísica y Respuesta Sísmica de Sitio

PhD. Edwin A Obando Hernández	- Doctor en Ingeniería Sísmica
MSc. Maycol C. Rugama Idiáquez	- Máster en Estructuras
MSc. Max Fariñas Pérez	- Máster en Estructuras y Sismorresistencia
MSc. Allan A. Mendoza Mercado	- Máster en Estructuras
MSc. Sonia Reyes López	- Máster en Estructuras
MSc. Daniel Lorio Laguna	- Máster en Estructuras
MSc. Ileana Silva Espinoza	- Máster en Estructuras
MSc. José Roberto Velásquez	- Máster en Estructuras
Tec. Francisco Estrada Berrios	- Técnico en manejo y uso de Equipos Sísmicos

Agradecimiento al comité técnico de revisión oficial de la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua.

MSc. Gary Torres Martínez	- Máster en Estructuras
Ing. Edwin Peralta Núñez	- Especialista en obras verticales

Con gran reconocimiento agradecemos a las autoridades de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN - Managua) por el acompañamiento técnico exhaustivo a esta norma

MSc. Ramona Rodríguez Pérez	- Rectora UNAN - Managua
MSc. Marlon Díaz Zúñiga	- Decano Facultad de Ciencias e Ingenierías
PhD. Freddy Sánchez Ruiz	- Director Departamento de Construcción

Así mismo se agradece al Instituto de Geología y Geofísica (**IGG-CIGEO**) por su acompañamiento técnico, capacitaciones e investigaciones suministradas durante el Proyecto de la Norma Sísmica.

Dra. Heyddy Calderón	- Director (IGG-CIGEO)
MSc. Horacio Ulloa	- Sub - Director (IGG-CIGEO)

Agradecemos a Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (**INETER**) y a la Alcaldía de Managua (**ALMA**) por la información científica suministrada, gestiones y permisos para la elaboración de esta norma.

Agradecemos a los gremios y profesionales del Colegio de Ingenieros de Nicaragua (**CIN**) y la Asociación Nicaragüense de Ingenieros y Arquitectos (**ANIA**) por sus aportes a la revisión de la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua.

Página intencionalmente en blanco

Alcances y Limitaciones **2**

2.1. Alcance

Esta norma define los criterios mínimos para el análisis y diseño sismorresistente de edificaciones nuevas, así como a la reparación y refuerzo de las ya existentes que lo requieran y cuyo desempeño sísmico previsto corresponda al indicado en la [sección 5.6](#).

Esta norma aplica para estructuras tales como:

- Edificios para uso habitacional, comercio y/o oficinas de uno o varios pisos.
- Espacios de uso público como centros de atención hospitalaria, iglesias, recintos educacionales, teatros, museos, estadios, salas de concierto, cines, bibliotecas, servicios de emergencias, cárceles, complejos culturales y cuarteles de policía.
- Bodegas, naves industriales, aeropuertos, estacionamientos, estructuras prefabricadas e instalaciones provisionales.

Los requisitos de estas normas tienen como propósito obtener un comportamiento adecuado tal que:

- a. Bajo sismos que puedan presentarse en varias ocasiones durante la vida útil de la estructura, se tengan, a lo más, daños que no conduzcan a la interrupción de la ocupación del edificio.
- b. Bajo el sismo de diseño en que se basa esta norma, no ocurran fallas estructurales mayores ni pérdidas de vidas, aunque puedan presentarse daños y/o deformaciones residuales de consideración que lleguen a afectar el funcionamiento del edificio y requerir reparaciones importantes.
- c. Especificar diferentes niveles de acción sísmica para la aplicación a todo tipo de construcciones según su desempeño esperado (Ver [sección 5.1](#))

2.2 Limitaciones No se contempla en esta norma, estructuras tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones, excepto en cuanto a la definición de las acciones sísmicas para su desempeño deseado.

Esta norma no contempla los casos de construcción que: 1) Presenten riesgos elevados de contaminación ambiental; 2) Interactúen con grandes masas de agua u otros fluidos; 3) Tengan fundaciones muy alejadas entre sí; 4) Respondan principalmente a velocidades o desplazamientos impuestos por el terreno; o 5) construcciones cuya falla pueda ocasionar daños significativos a la sociedad. Quedan así excluidas construcciones tales como, pero no limitadas a: presas, plataformas marinas fuera de la costa, puertos, grandes puentes colgantes o atirantados o en arco, acueductos, oleoductos, reactores nucleares, grandes tanques de almacenamiento, túneles, y cualquier otra estructura cuya respuesta dinámica dependa de otros parámetros del fenómeno sísmico al espectro de aceleraciones definido en esta norma.

Esta norma no considera el diseño de estructuras ante eventos especiales tales como desplazamiento de fallas geológicas, rupturas del terreno, avalanchas, tsunamis o maremotos, inundaciones, incendios, entre otros.

Definiciones y notación

3

3.1 Definiciones

Acción sísmica: Son acciones accidentales debidas a la ocurrencia de sismos, tales como los movimientos vibratorios del terreno (traslacionales y rotacionales), desplazamientos en fallas geológicas, licuación, inestabilidad del terreno, tsunamis, entre otros.

Acciones Variables: Son acciones que actúan sobre la edificación con magnitud variable en el tiempo y que se deben al uso y ocupación del edificio, como las cargas de personas, vehículos, ascensores, grúas móviles, maquinarias, sus efectos de impacto, así como las acciones de temperatura y geológicas y los empujes de líquidos y tierras que tengan un carácter variable.

Aceleración espectral: Valor de la aceleración para un valor dado del período de vibración y del amortiguamiento de la estructura.

Acelerograma: Serie temporal o cronológica de valores de aceleración que se han registrado durante un sismo. En el registro se puede notar la excitación sísmica, en la cual se describe la variación de la aceleración en función del tiempo.

Acelerógrafo, acelerómetro: Instrumento específicamente diseñado para registrar la variación temporal de la aceleración del terreno o de la estructura.

Altura de piso: La distancia entre los diferentes niveles de piso de una estructura.

Amenaza Sísmica: Término mediante el cual se caracteriza la probabilidad de excedencia de una medida de intensidad del movimiento del terreno, tal como una respuesta espectral. En los mapas de esta norma la amenaza corresponde a sitios rocosos de $V_{s30} = 760$ m/s.

Análisis dinámico elástico modal espectral: Método de análisis dinámico lineal que suministra la respuesta máxima de una estructura con un modelo elástico, a partir de combinar las respuestas máximas en sus modos de vibración. La acción sísmica se describe por un espectro de respuesta.

Análisis estático no lineal: Método de análisis estático no lineal que suministra la máxima respuesta de una estructura con un modelo inelástico. La acción sísmica se describe por un espectro de respuesta.

Análisis dinámico no lineal: Método de análisis no lineal que suministra la variación de la respuesta con el tiempo de una estructura con un modelo inelástico. La acción sísmica se describe por un acelerograma.

Análisis post-sísmico: Análisis con posterioridad a un sismo, tomando en consideración los eventuales cambios de las propiedades de los materiales y componentes como consecuencia de dicho sismo.

Categoría de diseño sísmico: Una clasificación asignada a una estructura basada en su Categoría de Riesgo y la severidad del diseño sísmico del movimiento del suelo en el sitio, como se define en la [sección 5.3](#).

Cedencia: Condición del sistema resistente a sismos, caracterizada por aumentos considerables de los desplazamientos, para pequeños incrementos del cortante basal.

Centro de cortante: Punto donde actúa la fuerza cortante en un nivel, considerando que las fuerzas horizontales en cada nivel actúan en los centros de masa respectivos.

Centro de cortantes de un piso: Es el punto de un piso donde se considera aplicada la fuerza cortante " V_i ", de ese piso. Si la distribución de cargas y la geometría del piso considerado se repiten en todos los pisos superiores a él, el centro de cortantes coincide con el centro de masas.

Centro de masas de un piso: Es el punto donde se considera aplicada la fuerza horizontal " F_i ", que incide sobre ese piso. El centro de masas coincide con el centro de gravedad de las cargas verticales del piso (Cargas Muertas + Proporción de Cargas Variables). Si las cargas verticales están distribuidas uniformemente, el centro de masas coincide con el centroide geométrico de la planta del piso.

Centro de rigidez de un nivel: Punto del nivel donde aplicar una fuerza cortante horizontal, el nivel se traslada sin rotar respecto al nivel inferior.

Clase de sitio (Clasificación del sitio): Una clasificación asignada a un sitio en base a los tipos de suelos presentes y sus propiedades de ingeniería, como se define en la [sección 6.3](#).

Coefficiente sísmico: Cociente entre la fuerza cortante horizontal que actúa en el nivel de base y el peso total por encima del mismo.

Colapso: Estado en el cual se alcanza la inestabilidad cinemática de la estructura.

Conexión: Junta para transmitir fuerzas entre dos o más miembros que se intersecan.

Cortante basal de diseño: Fuerza total de diseño para cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción, de acuerdo con las especificaciones de la presente norma.

Cortante de piso (Cortante Sísmico del piso): Sumatoria de las fuerzas laterales de todos los pisos superiores al nivel considerado.

Deriva: Diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles o pisos consecutivos.

Deriva de piso: Desplazamiento lateral relativo de un piso en particular por la acción de una fuerza horizontal con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura. Se calcula restando del desplazamiento del extremo superior el desplazamiento del extremo inferior del piso.

Diafragma: Parte de la estructura, generalmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano, diseñada para transmitir las fuerzas laterales a los elementos verticales del sistema resistente a sismos.

Diafragma flexible: Es aquel diafragma que solo tiene la capacidad de transmitir las fuerzas de corte directo tangenciales al plano del diafragma.

Diafragma rígido: Es un diafragma que tiene suficiente rigidez para poder transmitir de manera uniforme los desplazamientos en todos los puntos que la componen.

Diafragma vertical: Ver muros, muros de corte.

Ductilidad: Capacidad que poseen los componentes de un sistema estructural de hacer incursiones alternantes en el dominio inelástico, sin pérdida apreciable en su capacidad resistente.

Edificación: Es una estructura que posee diafragmas, que compatibilizan los desplazamientos horizontales de los miembros que llegan a ese nivel.

Edificio: Cualquier estructura cuyo uso previsto incluya refugio de ocupantes humanos.

Efecto P-Delta: Efecto secundario producido por las cargas verticales y los desplazamientos laterales, sobre las solicitaciones en los miembros de la estructura deformada.

Elementos estructurales: Son las partes de la estructura. Comprende, vigas, columnas, muros, juntas, arrostros, cabezales, zapatas, pilotes.

Elementos no estructurales: Son todas las partes y contenidos de una edificación con excepción de los elementos estructurales.

Entrepiso: Parte de una edificación comprendida entre dos pisos o niveles consecutivos.

Espectro de respuesta elástica: Representa la respuesta máxima de cualquier sistema lineal y elástico de un grado de libertad, como una función de los valores de sus períodos de vibración para un mismo coeficiente de amortiguamiento, cuando están sometidos a movimientos sísmicos.

Espectro de respuesta reducido (Espectro de Diseño): Espectro de respuesta que incorpora el factor de reducción de respuesta correspondiente al sistema resistente a sismos adoptado. Se obtiene a partir del espectro de respuesta elástica.

Estructura: Conjunto de elementos estructurales ensamblados para resistir cargas verticales, sísmicas y de cualquier otro tipo. Las estructuras pueden clasificarse en estructuras de edificación y otras estructuras distintas a la edificación (puentes, tanques, etc.).

Estructuras tipo péndulo invertido: Estructuras en las que más del 70% de la masa de la estructura se concentra en la parte superior de una estructura esbelta en voladizo y en las que la estabilidad de la masa en la parte superior de la estructura se basa en la restricción rotacional en la parte superior de la estructura del elemento en voladizo.

Estudios de sitio: Evaluación de la amenaza sísmica local tomando en consideración las condiciones particulares del sitio, como V_{s30} , factores de amplificación y formas espectrales del sitio.

Excentricidad accidental: Valor adicional a la excentricidad estática que toma en cuenta las incertidumbres en la distribución de masas y rigideces y los efectos de la excitación rotacional del terreno.

Factor de sobre resistencia: Se define el factor de sobre resistencia como la relación entre el cortante basal último que es capaz de soportar la estructura con relación al cortante basal de diseño.

Factor de redundancia: El factor de redundancia mide la capacidad de incursionar la estructura en el rango no lineal. La capacidad de una estructura en redistribuir las cargas de los elementos con mayor sollicitación a los elementos con menor sollicitación. Se evalúa como la relación entre el cortante basal máximo con respecto al cortante basal cuando se forma la primera articulación plástica.

Fuerzas Auto Restrictivas Far: Son fuerzas en la estructura producto de las variaciones del material por la temperatura, contracción o expansión del material estructural. Fuerzas producto de asentamientos diferenciales, fuerzas de pretensados o postensado incluyendo los efectos de relajación y pérdidas de dichos sistemas que afectan la estructura principal.

Fundaciones: Son los elementos estructurales que transmiten las cargas de las edificaciones al suelo subyacente. Incluirán las cargas gravitacionales aplicadas al sistema estructural, fuerzas sísmicas de diseño, fuerzas por viento y empuje de suelo.

Histéresis: Persistencia de un fenómeno cuando cesa la causa que lo ha producido.

Losas nervadas: Losas apoyadas sobre vigas y/o muros monolíticamente vaciados con nervaduras espaciadas en formas regulares y colocadas en una o dos direcciones perpendiculares.

Marco arriostrado: Una armadura esencialmente vertical, o su equivalente, del tipo concéntrico o excéntrico que se proporciona en un sistema de edificio de marcos o sistema dual para resistir fuerzas sísmicas.

Microzonificación sísmica: Identificación detallada, en una ciudad o un desarrollo regional, de las zonas de suelos con comportamiento vibratorio y efectos secundarios (deslizamientos, licuación del suelo u otros) similares durante un sismo.

Permite definir parámetros precisos para el diseño y construcción de edificaciones sismorresistentes y la mitigación del riesgo sísmico existente. El estudio asociado integra la evaluación de la amenaza sísmica en roca, las características topográficas y el análisis de información geofísica, geológica y geotécnica del subsuelo.

Momento torsional: Suma de los pares torsores en cada nivel por encima del nivel considerado, incluido este, más el producto de la fuerza cortante del nivel multiplicada por su excentricidad.

Muro de mampostería confinada: Muro de bloques huecos de concreto o sólidos de arcilla, unidos con mortero, confinado mediante elementos de borde construidos de concreto armado, fundidos a la construcción del muro de mampostería y que forman parte del sistema estructural.

Muro de mampostería reforzada: Muro de cortante de mampostería, reforzado con varillas de acero, que forma parte del sistema estructural.

Muro estructural (Diafragma vertical): Pared construida a todo lo alto de la estructura, diseñada para resistir fuerzas sísmicas en su propio plano, cuyo diseño proporcionará un comportamiento dúctil ante cargas sísmicas.

Muro de carga: Pared calculada y construida para resistir principalmente cargas verticales.

Muro de corte: Muros especialmente diseñados para resistir cargas verticales como horizontales paralelos al mismo

Muro divisorio: Elementos destinados a dividir un área o espacio en referencia a otro y que no tiene función estructural.

Muro no estructural: Un muro que no sea un muro de carga o un muro de corte.

Nivel: Es el plano horizontal en el que se supone concentrada la masa del piso.

Nivel de base: Nivel más bajo de la edificación donde se admite que las acciones sísmicas se transmitan a la estructura.

Panel estructural de madera: Un producto de panel a base de madera y está adherido con un adhesivo impermeable. Se incluyen bajo esta designación la madera contrachapada, el tablero de fibra orientada y los paneles compuestos.

Peligrosidad sísmica (Peligro sísmico): Probabilidad de ocurrencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, movimientos del suelo cuyos parámetros: aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados.

Perfil geotécnico: Es la representación bidimensional de las condiciones geotécnicas de un lugar que incluye la estratigrafía y la geometría de los depósitos de suelos, además de los parámetros mínimos necesarios para su caracterización.

Periodo: Es el tiempo que tarda en completar un ciclo durante una vibración libre de la estructura.

Periodo fundamental estructural: El periodo fundamental de una estructura es el tiempo que esta toma en dar un ciclo completo (ir y volver), cuando experimenta vibración no forzada. Su determinación es primordial porque de él depende la magnitud de la fuerza sísmica que experimentará la estructura.

El periodo está en función de la masa y rigidez de la edificación.

PGA (Peak Ground Acceleration): Aceleración sísmica máxima (pico) horizontal en roca.

Periodos de vibración: Propiedad dinámica de las estructuras. Son los periodos asociados a cada modo de vibración. Dependen de las masas y las rigideces de la estructura.

Piso: Cada uno de las plantas que integran la edificación similar, adosados a elementos verticales del sistema sismo-resistente.

Piso flexible (blando): Piso en el cual su rigidez lateral es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso inmediatamente superior.

Piso débil: Piso en el cual su resistencia lateral es menor que el 80% de la resistencia del piso inmediato superior.

Pórtico (Marco): Sistema estructural constituido por vigas y columnas, que se deforma primordialmente por la flexión de sus miembros.

Pórtico especial sismorresistente: Estructura formada por columnas y vigas descolgadas del sistema de piso, que resiste cargas verticales y de origen sísmico, en el cual tanto el pórtico como la conexión viga-columna son capaces de resistir tales fuerzas y está especialmente diseñado y detallado para presentar un comportamiento estructural dúctil. Estos deberán cumplir con los requerimientos Normativos sísmicos especiales del ACI 318, capítulo 18 y del Seismic Design Manual AISC.

Pórtico especial sismorresistente con diagonales rigidizadores: Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos especiales sismos resistentes como por diagonales estructurales, concéntricas o no, adecuadamente dispuestas especialmente, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende como una adecuada disposición el ubicar las diagonales lo más simétricamente posible, hacia la periferia y en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere pórtico con diagonales se requiere que el sistema de diagonales absorba al menos el 75% del cortante basal en cada dirección.

Pórtico especial sismorresistente con muros estructurales (Sistemas duales): Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos especiales sismorresistentes como por muros estructurales adecuadamente dispuestos especialmente, diseñados todos ellos para resistir fuerzas sísmicas. Se entiende como una adecuada disposición ubicar los muros estructurales lo más simétricamente posible, hacia la periferia y que mantienen su longitud en planta en todo lo alto de la estructura. Para que la estructura se considere como un sistema dual se requiere que los muros absorban al menos el 75% del cortante basal en cada dirección.

Pórticos intermedios de hormigón armado: Pórticos que en su diseño se garantice el confinamiento de los elementos estructurales en los puntos críticos de unión viga-columna.

Pórticos intermedios de acero: Aquellos que no cumplen con la definición de pórticos especiales.

Reforzamiento: Acciones constructivas para mejorar la capacidad sismorresistente de la edificación mediante la modificación de su resistencia, rigidez, o ductilidad.

Registros acelerográficos: Registro de la aceleración del terreno obtenido durante la ocurrencia de un sismo, el cual tiene tres componentes o acelerogramas en dos direcciones horizontales ortogonales y la dirección vertical.

Distorsión de piso: La deriva de piso, según se determina en [sección 10](#), dividida por la altura del piso.

Relación de refuerzo longitudinal (cuantía de acero): Área de refuerzo longitudinal dividida por el área de sección transversal del concreto.

Restitución de la capacidad sismorresistente de una edificación dañada por sismo, sin incrementar su capacidad sismorresistente más allá de su condición inicial. Este vocablo también incluye daños debidos a otras causas, tales como: deterioro, fuego, viento, etc., para retribuir a la edificación su capacidad sismorresistente original.

Resistencia lateral de un piso: Es la suma de las máximas fuerzas cortantes que puedan ser transmitidas por los miembros de ese entrepiso.

Riesgo Sísmico: Consecuencias de la ocurrencia de los sismos. Se representa por el producto entre la amenaza y la vulnerabilidad. Se suele describir en términos de la probabilidad de ocurrencia de los efectos de los sismos.

Rigidez lateral de un piso: Resultado de dividir la fuerza cortante y la diferencia de desplazamientos laterales elásticos entre los dos pisos del entrepiso en consideración.

Sismo de diseño: Evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años (periodo de retorno de 475 años), determinado a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura o a partir de un mapa de peligro sísmico. Para caracterizar este evento, puede utilizarse un grupo de acelerogramas con propiedades dinámicas representativas de los ambientes tectónicos, geológicos y geotécnicos del sitio, conforme lo establece esta norma. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden modelarse mediante un espectro de respuesta para diseño, como el proporcionado en esta norma.

Sismo extremo: Un sismo con probabilidad de excedencia de un 2% en 50 años, lo que equivale a un sismo con un periodo de retorno de 2,475 años.

Sistema resistente a cargas laterales: La parte del sistema estructural que se ha considerado en el diseño para proporcionar la resistencia requerida a las cargas laterales aquí prescritas.

Sistema resistente a sismos: Parte del sistema estructural que se considera suministra a la edificación la resistencia, rigidez y ductilidad necesarias para soportar las acciones sísmicas.

Vulnerabilidad Sísmica: Grado de pérdida o deterioro de un elemento o estructura, como resultado de la ocurrencia de un sismo. Se suele representar como una probabilidad condicional.

a_0 = Aceleración del terreno en roca para período cero

3.2 Notaciones

A_B = Área de la base de la estructura

A_i = Área del alma del muro de cortante i

A_k = la carga o el efecto de carga resultante del evento extraordinario

$A_{(T)}$ = Forma del espectro elástico de diseño

A_x = Factor de amplificación torsional

β = Cociente de aceleración $a(\text{meseta})/a_0$

β_{pd} = Relación entre la demanda y la capacidad a cortante para el piso entre los niveles i y $i-1$.

Δ_{ADVE} = Promedio de la deriva de piso a nivel de diafragma

Δ_i = Deriva de piso

δ_{M1} δ_{M2} = Desplazamientos de respuesta inelástica máxima de las estructuras adyacentes en sus bordes adyacentes

δ_{MDD} = Máxima deflexión del diafragma

δ_M = Separación máxima de respuesta inelástica permitida en términos de desplazamiento

δ_{MT} = Separación de estructuras adyacentes

δ_i = Desplazamiento en un nivel i

δ_{ie} = Desplazamiento lateral elástico en un punto del nivel i calculado con el espectro de respuesta reducido, en donde se han incorporado los efectos torsionales y los efectos de las dos componentes horizontales de la acción sísmica, así como los efectos de amplificación por la incorporación del análisis P- Δ .

δ_{max} = Valor del desplazamiento máximo en el nivel i .

δ_{prom} = Promedio de desplazamientos de los puntos extremos de la estructura en el nivel i .

C_d = Coeficiente de deflexión

CM = Carga muerta total de la estructura

C_u = Coeficiente para el límite superior del período máximo calculado

C_i = Coeficientes para el cálculo del período aproximado

CV = Carga viva según tabla 7.1.1

C_{VT} = Carga Variable de techo

C_{CV} = Carga por Ceniza Volcánica

C_S = Coeficiente sísmico

$C_{S_{min}}$ = Coeficiente sísmico mínimo.

C_{vx} = Coeficiente de distribución vertical de la fuerza cortante

C_w = Coeficiente para el cálculo de período aproximado de estructuras con muros

D_i = Longitud del muro de cortante i

γ_i = Distorsión del piso

γ_{max} = Distorsión máxima de piso

d_i = Espesor del estrato i

E = Carga sísmica en ambas componentes

E_m = efecto de carga sísmica en ambas componentes incluida la sobrerresistencia;

E_{mh} = efecto de fuerzas sísmicas horizontales, incluida la sobrerresistencia

E_h = efecto de fuerzas sísmicas horizontales

E_v = efecto de las fuerzas sísmicas verticales

E_x = Sismo horizontal en la componente X

E_y = Sismo horizontal en la componente Y

F = Carga de fluidos contenidos.

F_i = La porción del cortante sísmico basal inducido en el nivel i .

F_a = Cargas de Inundación

F_{ar} = Fuerzas de auto restrictivas.

F_x = Fuerza sísmica lateral

F_{PB} = Resistencia acorte del piso B

F_{PC} = Resistencia acorte del piso C

F_{Pi} = Resistencia acorte del piso i

F_{as} = Factor de amplificación vertical por tipo de suelo

F_S = Factor de ajuste espectral para T_b y T_c (FS_{T_b} , FS_{T_c}) Ajustan la meseta del espectro.

g = Aceleración de gravedad.

H = Empuje del suelo, presión lateral del agua o presión de material almacenado.

h_i = Altura del piso i

h_n = Es la altura de la estructura en metros

h_x = Altura desde la base al nivel x .

I = Factor de importancia

θ = Coeficiente de estabilidad

θ_{max} = Coeficiente de estabilidad Máximo

K = Valor ajustado en función de la relación de las aceleraciones y el período de retorno determinado.

k = Exponente relacionado al periodo de la estructura.

K_{cv} = Coeficiente de reducción por elemento.

K_D = Rigidez lateral del piso D

K_E = Rigidez lateral del piso E

K_F = Rigidez lateral del piso F

K_c = Rigidez lateral del piso C

K_i = Rigidez lateral del piso i

m_c = Distribución de masa piso C

m_D = Distribución de masa piso D

m_E = Distribución de masa piso E

n = Vida útil en años

N = El número de pisos de la estructura.

\bar{N} = Número de golpes del ensayo de penetración estándar

R = Coeficiente de modificación de respuesta

P_e = Probabilidad de excedencia

p = Constante exponencial de ajuste espectral

PGA = Peak ground acceleration (Aceleración Pico del Terreno)

PI = Índice de plasticidad

P_i = Suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i

q = Constante exponencial de ajuste espectral

Q_E = cortante sísmico basal o efectos de las fuerzas sísmicas horizontales sobre la estructura

R_o = Factor de comportamiento sísmico del sistema estructural

R_{cv} = Factor de reducción de la carga variable

S_u = Resistencia al corte sin drenar

T = Período Fundamental de la estructura

T_a = Período fundamental aproximado

T_b = Período de inicio de la meseta, aceleración constante

T_c = Período inicial del espectro en la rama de velocidad constante

T_d = Período inicial del espectro en la rama de desplazamiento constante

T_r = Período de retorno

ϕ_{Ei} = Factor de irregularidad en elevación

ϕ_{Pi} = Factor de irregularidad en planta

Φ_E = Factor de regularidad en elevación

Φ_{EA} = Mínimo valor de ϕ_{Ei} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 1 y 4.

Φ_{EB} = Mínimo valor de ϕ_{Ei} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 2 y 3.

Φ_P = Factor de regularidad en planta

Φ_{PA} = Mínimo valor de ϕ_{Pi} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 1,2 y/o 3

Φ_{PB} = Mínimo valor de ϕ_{Pi} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 4

V = Carga por Viento

V_{S30} = Velocidad de onda de corte a los primeros 30 metros

V_i = Cortante sísmico del piso i

V_s = Velocidad de ondas de corte

V_t = Cortante basal modal

V_x = El cortante de diseño sísmico en cualquier piso

W = Peso sísmico efectivo de la estructura

w_i = porción del peso sísmico efectivo de la estructura W , localizado o asignado al nivel i .

w_x = porción del peso sísmico efectivo de la estructura W , localizado o asignado al nivel x .

x = Coeficiente exponencial para el cálculo del período aproximado

Z_i = Zona sísmica

Ω_0 = Factor de sobrerresistencia

4 Normativas de Referencias

En esta sección se describen todos los documentos normativos tomados como referencia para la elaboración y propuesta de este documento, así como los documentos de investigaciones y publicaciones realizadas a partir de este proyecto que dan la valides y pertenencia científica-técnica.

En la Normativa se aplican las siguientes ediciones citadas:

Comité ISOTC98 / SC3, Cargas, fuerzas y otras acciones.

- **ISO 3010-17**, Bases para el diseño de estructuras – Acción sísmica en estructuras.
- **ISO 23469-05**, Bases para el diseño de estructuras – Acción sísmica para el diseño de obras geotécnicas.
- **ISO 2103-86**, Cargas por uso y ocupación en edificios residenciales y públicos.

Comité ISOTC98 / SC2, Fiabilidad de las estructuras.

- **ISO 2394-15**, Principio generales sobre confiabilidad para estructuras.
- **ISO 4356-77**, Bases para el diseño de estructuras – Deformaciones de edificios en los estados límites de servicio.
- **ISO 13822-10**, Bases para el diseño de estructuras – Evaluación de estructuras existentes.
- **ISO 13823-08**, Principios generales sobre el diseño de estructuras para la durabilidad.
- **ISO 22111-07**, Bases para el diseño de estructuras – Requisitos generales.

Comité ISOTC98 / SC1, Terminología y símbolos

- **ISO 3898-13**, Bases para el diseño de estructuras – Nombres y símbolos de cantidades físicas y cantidades genéricas.

Normas de diseño estructural:

- **CR-001**, Norma mínima de diseño y construcción de Concreto Estructural.
- **AE-001**, Norma mínima de diseño y construcción general de Acero Estructural.
- **MP-001**, Norma mínima de diseño y construcción de Mampostería.

Normativas o códigos internacionales:

- ASCE/SEI 7-16, Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.
- ASCE/SEI 41, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings
- FEMA 440, Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures.
- FEMA 273, Guidelines for The Seismic Rehabilitation of Buildings.
- FEMA P-1051, Recommended seismic provisions.
- NEC – Norma Ecuatoriana de la Construcción
- Guía Boliviana de Diseño sísmico
- NSR-10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente
- Código modelo sísmico para América latina y el caribe

Tesis, Informes, Guías y publicaciones:

- Estimación de coeficientes de amplificación de sitio para la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua, Nicaragua. (XXII Congreso de Nacional de Ingeniería Sísmica de México 2019).
- Selección y modelamientos de registros de entrada en roca para la creación de base de datos del proyecto de actualización de la Norma Sismorresistente para la Ciudad de Managua, Nicaragua. (XXII Congreso de Nacional de Ingeniería Sísmica de México 2019).
- Informe Preliminar de geofísica y respuesta sísmica de sitio MTI-2019
- Informe Geológico MTI 2019
- Informe de geofísica y respuesta sísmica de sitio MTI 2021
- Informe de Estudio de Amenazas Sísmicas para Nicaragua MTI 2021
- Guidelines for Performing Hazard-Consistent One - Dimensional Ground Response Analysis for Ground Motion Prediction (Pacific Earthquake Engineering Research Center Berkeley, California)
- Comparación de las Normativas Sísmicas de Suramérica (Colombia, Venezuela, Ecuador, Chile y Perú), el Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07), México (NTC 2017), y la norma American Society of Civil Engineers (ASCE7-16), con respecto a la International Organization for Standardization (ISO 3010) para mejorar la normativa nicaragüense en las futuras actualizaciones.
- Comparación de las Normativas Sísmicas de Centroamérica (Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá), el Reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07), México (NTC 2017), y la norma American Society of Civil Engineers (ASCE7-16), con respecto a la International Organization for Standardization (ISO 3010-17) para mejorar la normativa nicaragüense en las futuras actualizaciones.

5 Clasificación de las estructuras y de la amenaza sísmica

Las estructuras se clasificarán según su grupo de importancia, categoría de riesgo, categoría de diseño sísmico, regularidad estructural, material de construcción y sistema estructural según se establece en este capítulo. La amenaza se clasificará de acuerdo con el periodo de retorno del evento sísmico asociado a una categoría de riesgo de acuerdo lo indicado en este capítulo.

COMENTARIOS

Las construcciones no tipificadas en este capítulo se diseñarán con el apoyo de normas internacionales y referencias reconocidas. Deberá establecerse de forma explícita los requisitos de detallado cuando se utilicen materiales de construcción y sistemas estructurales no tipificados en este capítulo.

5.1 Clasificación por grupo de Importancia

Las estructuras se clasificarán en uno de los grupos de importancia que se establecen en la [Tabla 5.2.2](#) que corresponden a una categoría de riesgo, la cual, se encuentra directamente relacionada a un sismo de diseño tal como se indica en la [Tabla 5.1.1](#).

Tabla 5.1.1 - Sismo de diseño según categoría de riesgo

Grupo de Importancia	Categoría de Riesgo	Sismo de diseño
Estructuras no destinadas a habitación	I	Sismo de servicio.
Estructuras de ocupación normal	II	Sismo de diseño
Estructuras de ocupación especial	III	Sismo extremo I.
Estructuras esenciales	IV	Sismo extremo II.

COMENTARIOS

La clasificación según el grupo de importancia de las construcciones no tipificadas en este capítulo debe tomar en cuenta el riesgo sísmico asociado, considerando el número de personas o población expuesta, pérdidas económicas directas e indirectas, así como el acto ambiental involucrado.

La clasificación de las edificaciones según su uso es práctica común en las normativas vigentes de muchos países. Los cuatro grupos establecidos en esta norma permite diferenciar las obras que son de funcionamiento vital en condiciones de emergencia o cuya falla puede dar lugar a cuantiosas pérdidas de vidas.

Los m², así como el número de personas que se dan como referencia para las estructuras de ocupación especial con categoría de riesgo III, deben entenderse como órdenes de magnitud con tolerancias del orden del 10% por defecto o por exceso. Las edificaciones que contengan áreas de uso que correspondan a más de un grupo de importancia, se clasificarán con el grupo más exigente con el fin de lograr un comportamiento adecuado.

Se asignará un Factor de Importancia de acuerdo con la categoría de riesgo. Su valor será el indicado en la Tabla 5.2.1. El propósito del factor de importancia I es ajustar la demanda sísmica de diseño a la probabilidad de no excedencia del grupo de importancia asignado a dicha estructura.

5.2 Factor de Importancia

Tabla 5.2.1- Factor de Importancia

Categoría de riesgo	I
I	0.75
II	1.0
III	1.3
IV	1.65

La intención de la aplicación de un factor de importancia diferente de la unidad, es la de especificar movimientos sísmicos asociados a una probabilidad de excedencia que se corresponda con un riesgo apropiado al grupo de importancia en cuestión.

La relación entre la aceleración máxima del terreno " a ", la vida útil " n " en años y la probabilidad de excedencia " p_e " y el período de retorno " T_r ", se establece en las ecuaciones 5.6-1 a 5.6-3.

COMENTARIOS

Tabla 5.2.2 - Categoría de riesgo de las estructuras según su grupo de importancia

Grupo de Importancia	Categoría de Riesgo	Ejemplos
Estructuras no destinadas a habitación	I	<p>Estructuras que representan un bajo riesgo para la vida humana en el caso de falla, cuyo colapso no puede causar daño a estructuras que pertenecen a otros grupos de importancia. Incluyendo, pero no exclusivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estructuras provisionales con un servicio menor a tres años. ▪ Instalaciones agrícolas, sin ocupación humana permanente. ▪ Instalaciones de un nivel destinadas a almacén de productos no tóxicos, ni otro que exponga la seguridad pública.
Estructuras de ocupación normal	II	<p>Estructuras comunes de ocupación normal.</p> <p>Estructuras de la categoría III que no cumplan con la condición de albergar más de 500 personas, más de 10 pisos, con área de construcción mayor a 10,000 m², proyectos con un número mayor de 10 edificios y/o más de 50 unidades de vivienda unifamiliar o bifamiliar.</p> <p>En general por defecto, cualquier estructura que no pertenezca a las categorías III, y IV o estructura de la categoría I que pueda poner en peligro a estructuras de este grupo.</p>
Estructuras de ocupación especial	III	<p>Estructuras de alta ocupación tal como se detalla a continuación o cuya falla representa un riesgo sustancial para la vida humana y gran impacto de pérdida económica y/o alteración masiva de la vida civil cotidiana.</p> <p>Estructuras no incluidas en la categoría IV o estructuras de los grupos I y II que puedan poner en peligro a estructuras de este grupo.</p> <p>Construcciones que se deben mantener en operación inmediatamente después de la ocurrencia de un sismo extremo I. Como lo son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estructuras destinadas a vivienda, oficina, comercio, hotel, banco, teatro, restaurante e industria que alberguen a más de 500 personas o más de 10 pisos o cuya área de construcción sea mayor a 10,000 m². ▪ Estructuras pertenecientes a un proyecto en el cual se construirá un número mayor de 10 edificios o de 50 unidades de vivienda unifamiliar o bifamiliar. ▪ Centros de educación preescolar, primaria y secundaria públicos o privados con más de 500 alumnos. ▪ Centros de educación superior o carreras técnicas públicos y privados con más de 500 alumnos. ▪ Centros deportivos que alberguen más de 500 personas. ▪ Centros de convención que reúna a más de 500 personas. ▪ Centros de salud comunitarios, clínicas y Ambulatorios que alberguen a más de 500 pacientes, sean públicas o privadas. ▪ Iglesias con asientos para más de 500 personas. ▪ Puentes con tramos entre 15 y 34 metros de longitud.

Estructuras esenciales y Críticas	IV	<p>Estructuras cuyo uso es esencial para la sociedad y, por lo tanto, los daños experimentados durante la ocurrencia de un sismo extremo II, no deben impedir su operación inmediatamente después del evento.</p> <p>Estructuras Esenciales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Edificaciones policiales, militares y de orden público. ▪ Estaciones de bomberos, defensa civil y atención de desastres. ▪ Museos y construcciones patrimoniales con objetos o documentos de valor excepcional. ▪ Estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. ▪ Edificaciones y equipos de estaciones telefónicas. ▪ Central eléctrica de emergencia que sirven de respaldo a estructuras que pertenecen a este grupo. ▪ Instalaciones de tratamiento y recolección masiva de aguas residuales y obras anexas. ▪ Estructuras destinadas al tratamiento, el almacenamiento y la distribución masiva de agua potable y sus obras anexas. ▪ Terminales de transporte. ▪ Edificios gubernamentales y sus obras anexas. ▪ Centros de datos de compañías que provean servicios al sector público. <p>Estructuras Críticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hospitales Departamentales y Regionales. Construcciones o instalaciones de alto riesgo, como son las que producen, almacenan o manipulan sustancias y materiales químicos, gases tóxicos y explosivos. ▪ Edificios de albergue contra huracanes, terremotos e inundaciones. ▪ Edificios designados como críticos para manejo de emergencias. ▪ Aeropuertos, centros de control de tráfico aéreo y torres de control. ▪ Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica, así como líneas y subestaciones eléctricas de alta tensión. ▪ Puentes y viaductos de más de 40 metros entre estribos en cualquiera de sus tramos. ▪ En general toda aquella estructura de los grupos I, II y III que puedan poner en peligro a estructuras de este grupo.
--	-----------	---

5.3 Clasificación por categoría de diseño sísmico

A cada estructura se le asignará una categoría de diseño sísmico (CDS), basadas en el nivel de amenazas sísmica en la cual están ubicadas y en la categoría de riesgo asociada a su grupo de importancia. Estas categorías se definen a continuación y su asignación se hará de acuerdo con lo establecido en la Tabla 5.3.1.

CDS = A: Esta categoría de diseño no proporciona a la estructura ninguna capacidad de incursión inelástica y por tanto solo requiere de cumplir con las exigencias de resistencia adecuada para atender las sollicitaciones de diseño prescritas en las normas de materiales que corresponda.

CDS = B: Esta categoría de diseño proporciona a la estructura una baja capacidad de incursión inelástica. Se diseñará la estructura con un mínimo de requisitos de detallado según lo establecido para esta categoría en las normas de materiales que corresponda.

CDS = C: Esta categoría de diseño proporciona una moderada capacidad para incursionar de manera estable en el rango inelástico sin pérdida de capacidad portante. Se diseñará la estructura con un nivel de resistencia y detallado cumpliendo lo establecido para esta categoría en las normas aplicables según los materiales que componen la estructura.

CDS = D: Esta categoría de diseño proporciona a la estructura una elevada capacidad para incursionar de manera estable en el rango inelástico, disipando energía sin pérdida de su capacidad portante. Se diseñará la estructura con un nivel de resistencia y exigencia máxima en el detallado cumpliendo lo establecido para esta categoría en las normas aplicables según los materiales que componen la estructura. Algunos sistemas estructurales con detallado ordinario o intermedio de uno o dos niveles son incluidos en esta categoría debido a que han demostrado un buen desempeño ante sismos, principalmente debido a sus características de rigidez y bajo peso o a la ductilidad inherente del material que lo conforma.

Tabla 5.3.1 - Categoría de diseño sísmico basado en el parámetro de aceleración del terreno en roca para período cero a_0 PGA. Con un período de retorno de 475 años

PGA Valores de a_0 en g	Categoría de riesgo	
	I, II	III, IV
$a_0 \leq 0.10$	A	B
$0.10 < a_0 < 0.15$	B	C
$0.15 \leq a_0 < 0.30$	C	D
$0.30 \leq a_0$	D	D

En esta sección se clasifican las construcciones de acuerdo a los criterios de diseño utilizados en el dimensionamiento y detallado de los miembros y de sus conexiones y aplica solamente a aquellos componentes que forman parte del sistema resistente a sollicitaciones laterales sísmicas y no al resto de los elementos estructurales que no forman parte de dicho sistema.

La clasificación de las estructuras por categoría de diseño sísmico tiene como objeto garantizar que las estructuras ubicadas en zonas de mayor amenaza sísmica deban tener mayor ductilidad. Por lo anterior, no está permitido el uso de categorías de diseño sísmico menos exigente que los especificados en la [tabla 5.3.1](#).

Las estructuras deberán clasificarse como regulares o irregulares en cada una de sus direcciones de análisis, basados en criterios de su configuración estructural. La irregularidad estructural puede alterar significativamente el desempeño de una estructura durante un sismo debido a que la incursión inelástica de la estructura no se distribuye de manera completa si no concentrada en ciertos puntos de la misma, además algunas irregularidades pueden introducir demandas no anticipadas que pueden no ser consideradas adecuadamente por el diseñador estructural.

5.4 Clasificación por Irregularidad

Factor de regularidad: Se determinará un factor de regularidad en planta (Φ_p) y elevación (Φ_E), según se detallan a continuación:

Tabla 5.4.1 - Factor de Regularidad

Factor de regularidad en planta	Factor de regularidad en elevación
$\Phi_p = \Phi_{PA} \times \Phi_{PB}$	$\Phi_E = \Phi_{EA} \times \Phi_{EB}$
Donde: D	onde:
Φ_p -- Factor de regularidad en planta	Φ_E -- Factor de regularidad en elevación
Φ_{PA} – Mínimo valor de ϕ_{pi} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 1,2 y/o 3.	Φ_{EA} – Mínimo valor de ϕ_{Ei} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 1 y 4.
Φ_{PB} – Mínimo valor de ϕ_{pi} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 4.	Φ_{EB} – Mínimo valor de ϕ_{Ei} de cada piso i para el caso de irregularidades del tipo 2 y 3.
ϕ_{pi} – Factor de irregularidad en planta	ϕ_{Ei} – Factor de irregularidad en elevación

Para el caso de estructuras irregulares, tanto en planta como en elevación, se usarán los factores de regularidad, que "penalizan" al diseño con fines de tomar en cuenta dichas irregulares, responsables de un comportamiento estructural deficiente ante la ocurrencia de un sismo.

Las secciones [5.4.1](#) y [5.4.2](#) describen las tipologías de irregularidades que se pueden presentar con mayor frecuencia en las estructuras de edificación. Junto a la descripción se caracteriza la severidad (acumulativa o no) de tales irregularidades.

El factor de regularidad tanto en planta como en elevación, incrementan el valor del cortante de diseño, con la intención de proveer de mayor resistencia a la estructura, pero no evita el posible comportamiento sísmico deficiente de la edificación. Por tanto, es recomendable evitar al máximo la presencia de las irregulares.

Construcción regular: Se considera cuando no se presenta ninguna de las irregularidades descritas en las secciones [5.4.1](#) y [5.4.2](#) en cuyo caso los coeficientes de regularidad toman el valor de la unidad. $\Phi_P = \Phi_E = 1$.

Construcción irregular: Se considerará como irregular cuando se presente al menos una de las irregularidades descritas en las secciones [5.4.1](#) y [5.4.2](#).

Se determinará un factor de irregularidad por cada tipo, en planta (ϕ_{pi}) y elevación (ϕ_{Ei}), según se detallan en las tablas de las secciones [5.4.1](#) y [5.4.2](#).

Si no existe algún tipo de irregularidad tanto para ϕ_{pi} o para ϕ_{Ei} se utilizará el valor de la unidad, de tal manera que pueda utilizarse el mínimo valor para la obtención de la regularidad en la estructura.

COMENTARIOS

Esta clasificación obedece a la necesidad de identificar aquellas estructuras en las cuales es posible predecir razonablemente los efectos de la acción sísmica mediante métodos de análisis. La cuantificación de las irregularidades requiere de métodos de análisis más refinados. Por ello, para seleccionar el método de análisis final, las estructuras deben clasificarse como regulares o irregulares.

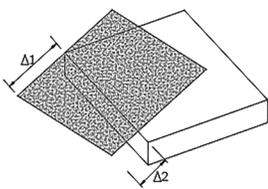
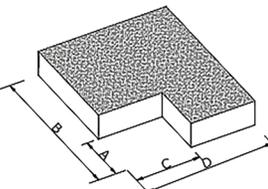
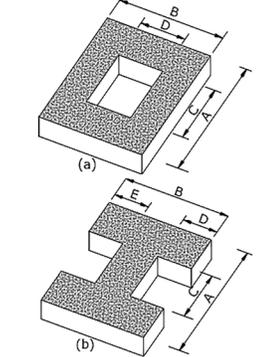
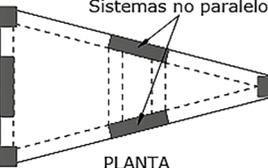
Las irregularidades verticales en la configuración vertical, afectan la respuesta a diferentes niveles y por lo tanto exigen el uso de análisis dinámico espacial.

Si bien para el caso de solicitaciones gravitacionales determinísticas, una mayor resistencia se suele relacionar con una mayor seguridad, bajo acciones sísmicas, la sobrerresistencia en un nivel puede dar lugar a diferencias importantes en el ámbito de deformaciones inelásticas con los niveles adyacentes, siendo la demanda de ductilidad excesiva en estos niveles, con lo cual se amenaza la estabilidad de la estructura. Por lo anterior, la mejor recomendación ante irregularidades es reducirlas al mínimo o su eliminación, esto es relativamente fácil de lograr en las primeras etapas del diseño.

En las irregularidades en planta, se ha hecho referencia a los problemas estructurales que presentan plantas con entrantes o salientes como las comúnmente llamadas plantas en L o en H, las cuales presentan problemas relacionados con la flexibilidad del sistema resistente. Un análisis dinámico que se fundamente en la hipótesis de diafragma rígido no tendrá la capacidad de poner en evidencia dichos problemas y por ello se recomienda el uso de modelos de análisis adecuados para estos casos.

Tabla 5.4.2 Factores de irregularidad en planta

5.4.1 Factores de Irregularidades en planta.

<p>Tipo 1 – Irregularidad torsional</p> <p>$\phi_{pi} = 0.9$ $\Delta > 1.2 * \left(\frac{\Delta 1 + \Delta 2}{2}\right)$</p> <p>Existe irregularidad por torsión, 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 mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en la sección 9.6 de la presente norma.</p>	
<p>Tipo 2 - Retroceso excesivos en las esquinas</p> <p>$\phi_{pi} = 0.9$ $A > 0.15B$ y $C > 0.15D$</p> <p>La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	
<p>Tipo 3 – Discontinuidad en los sistemas de piso</p> <p>$\phi_{pi} = 0.9$ a) $C \times D > 0.5A \times B$ b) $[C \times D + C \times E] > 0.5A \times B$</p> <p>La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	
<p>Tipo 4 – Ejes estructurales no paralelos</p> <p>$\phi_{pi} = 0.8$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto, la presencia de estas irregularidades requiere incluir en los modelos de análisis las deformaciones por flexión, fuerza axial, cortante y por torsión de los elementos estructurales y el método de análisis deberá ser dinámico espacial.</p>	

5.4.2 Factores de Irregularidades Verticales

Tabla 5.4.3 - Factores de irregularidad en elevación

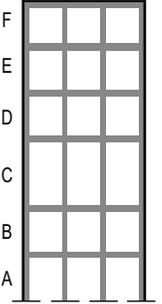
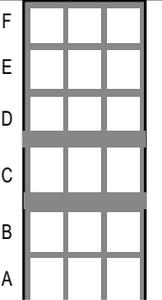
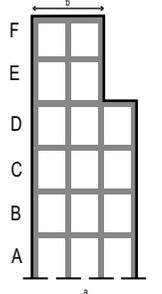
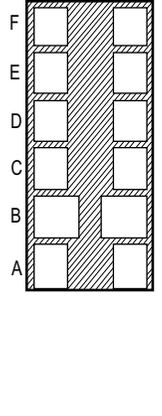
<p>Tipo 1 – Piso flexible $\phi_{Ei} = 0.8$ <i>Rigidez</i> $K_c < 0.70$ <i>Rigidez</i> K_D <i>Rigidez</i> $K_c < 0.80 \cdot \frac{(K_D + K_E + K_F)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular o de piso flexible cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	
<p>Tipo 2 – Distribución de masa $\phi_{Ei} = 0.9$ $m_D > 1.50m_E$ o $m_D > 1.50m_C$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.</p>	
<p>Tipo 3 – Irregularidad geométrica $\phi_{Ei} = 0.9$</p> <p>La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.</p>	
<p>Tipo 4 – Piso débil $\phi_{Ei} = 0.8$ <i>Fuerza de piso</i> $F_{PB} < 0.7 F_{PC}$ <i>Fuerza de piso</i> $F_{PB} < 0.80 \cdot \frac{(F_C + F_D + F_E)}{3}$</p> <p>La estructura se considera irregular o de piso débil, cuando la resistencia lateral de un piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior o menor que el 80 % del promedio de la resistencia lateral de los tres pisos superiores. Entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada.</p>	
<p>Nota: La descripción de estas irregularidades no faculta al calculista o diseñador a considerarlas como normales, por lo tanto, la presencia de estas irregularidades requiere incluir en los modelos de análisis las deformaciones por flexión, fuerza axial, cortante y por torsión de los elementos estructurales y el método de análisis deberá ser dinámico espacial. En los casos de aumento de masas con la altura y esbeltez excesiva, se deberá incorporar el efecto P-Delta en el análisis.</p>	

Tabla 5.4.4 - Definición de irregularidad extrema

<p>Tipo 1Ex – Irregularidad torsional Extrema</p> $\Delta > 1.4 * \left(\frac{\Delta_{max} + \Delta_{min}}{2} \right)$ <p>Existe irregularidad por torsión extrema, 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 mayor que 1.4 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia.</p>	
<p>Tipo 2Ex – Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical.</p> <p>Una estructura se considera fuertemente irregular cuando existen discontinuidades o desalineamientos en los ejes verticales que supera 1/3 de la dimensión horizontal del miembro inferior en la dirección del desalineamiento.</p>	
<p>Tipo 3Ex – Piso flexible Extremo</p> $Rigidez K_i < 0.60 K_{i+1}$ $K_i < 0.70 \cdot \frac{(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})}{3}$ <p>La estructura se considera fuertemente irregular o de piso flexible extremo, cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 60% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 70 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.</p>	$K_i < \frac{0.7}{3} (K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})$
<p>Tipo 4Ex – Piso débil extremo</p> $Fuerza de piso F_{pi} < 0.65 F_{pi+1}$ <p>La estructura se considera fuertemente irregular o de piso débil extremo, cuando la resistencia lateral de un piso es menor que el 65% de la resistencia del piso inmediatamente superior. Entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada.</p>	$F_{pi} < 0.65 F_{pi+1}$
<p>Tipo 5Ex – Columna corta</p> <p>Cuando exista una marcada reducción en la longitud libre de la columna, por el efecto de restricciones laterales tales como paredes u otros elementos estructurales.</p>	

5.4.3. Limitaciones y requerimientos adicionales para sistema con irregularidades extremas

Para estructuras con irregularidad tipo 1Ex, el factor de irregularidad en planta indicado en la [sección 5.4.1](#) para la irregularidad tipo 1, se reemplazará por el valor de $\phi_{pi}=0.8$.

Para estructuras con irregularidades tipo 2Ex, los elementos estructurales que soportan muros o marcos discontinuos o desplazados deberán ser diseñados para resistir el efecto de la carga sísmica, incluyendo el factor de sobrerresistencia indicado en la [sección 5.5](#) o en la [Tabla 5.5.1](#).

Para irregularidades estructurales verticales del tipo 1 y 2, e irregularidades extremas del tipo 3Ex, no aplican cuando la deriva máxima por sismo de cualquier piso es menor que 1.3 veces la deriva máxima por sismo del piso superior. Además, no se debe de considerar dichas irregularidades para edificaciones de un nivel para cualquier categoría de diseño sísmico, y para edificaciones de dos niveles con categoría de diseño sísmico B, C y D.

Estructuras con irregularidad tipo 4Ex no serán mayores a dos niveles o 9 m de altura estructural, incluyendo el desplante de las fundaciones.

En estructuras clasificadas como categoría de diseño sísmico CDS C y D, se deberán realizar las modificaciones estructurales necesarias para suprimir las irregularidades del tipo 3Ex y 4Ex y satisfacer los límites máximos impuestos para que clasifiquen como no irregularidad extrema.

Cuando exista irregularidad 5Ex, se deberá colocar refuerzo de confinamiento a todo lo largo de la columna y diseñar la columna para que resista el cortante que se desarrolla al aplicar los momentos máximos probables en ambos extremos de la longitud libre de la columna.

Esta clasificación refleja las características de absorción y disipación de energía de los distintos sistemas estructurales empleados, así como la experiencia sobre el comportamiento sísmico de los diferentes sistemas.

5.5 Clasificación por material y sistema estructural

La clasificación por sistema estructural permite establecer:

- El valor del coeficiente de modificación de respuesta R .
- El material con el cual se construye el sistema.
- El factor de sobrerresistencia Ω_o .
- El factor de amplificación de la deflexión C_d , usado para convertir los desplazamientos elásticos en inelásticos.
- La cantidad máxima de pisos permitida, definidos en términos de su altura en metros.
- La distorsión máxima de piso permitida γ_{max} .

Para cada dirección de análisis el sistema sismorresistente deberá ser clasificado en uno o más de los sistemas mostrados en la Tabla 5.5.1.

En esta norma se establecen siete grupos de sistemas estructurales desde el A hasta G según se indica en la tabal 5.5.1, resistentes a solicitaciones sísmicas laterales, en función de cuales miembros deban soportar las acciones sísmicas y/o las acciones gravitacionales.

Para el correcto cumplimiento de los diferentes tipos de detallado, se hace referencia al uso de los siguientes documentos:

- Sistemas de Concreto Reforzado: Usar los documentos; CR-001-2017 o ACI 318 en su última edición.
- Sistemas de Acero Estructural: Usar el documento AISC 341 en su última edición.
- Sistemas de Mampostería Reforzada: Usar el documento TMS-402 en su última edición.
- Sistemas de Mampostería Confinada: Usar los requisitos del documento MP-001-2017, complementados con un refuerzo mínimo en todos los elementos de confinamiento con capacidad para resistir las componentes vertical y horizontal correspondientes al puntal de compresión que se desarrolla en la mampostería para resistir las cargas laterales y verticales y formado por al menos cuatro varillas con área total no menor a $0.2(f'c/fy) bh$, ancladas entre los diferentes elementos que confinan el muro de manera que les permita desarrollar el esfuerzo de fluencia. Estos elementos de confinamiento deberán estar reforzados transversalmente por estribos cerrados con un área no menor a $1000s/(fy h)$, donde s es la separación de los estribos, la cual no puede exceder 20 cm, las unidades para estas expresiones deberán ser Kg y cm.

Tabla 5.5.1
Coefficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas

Sistema Estructural	Coeficiente de modificación de respuesta, R^a	Factor de sobrerresistencia, Ω_o^b	Coeficiente de deflexión, C_d	Distorsión Máxima De piso γ_{max}	Limitaciones del sistema estructural Incluyendo el límite de altura (m) ^c			
					Categoría de diseño sísmico			
					A	B	C	D
A. SISTEMAS DE MUROS DE CARGA *								
1. Muros de corte de concreto reforzado especiales	5	2 ½	5	0.02	SL	SL	SL	50
2. Muros de corte de concreto reforzados ordinarios	4	2 ½	4	0.01	SL	SL	SL	NP
3. Muros de corte intermedios prefabricados	4	2 ½	4	0.015	SL	SL	SL	12
4. Muros de corte ordinarios prefabricados	3	2 ½	3	0.01	SL	SL	NP	NP
5. Muros de corte de mampostería reforzada especial	5	2 ½	3 ½	0.015	SL	SL	SL	50
6. Muros de corte de mampostería reforzada intermedia	3 ½	2 ½	2 ¼	0.01	SL	SL	SL	6
7. Muros de corte de mampostería reforzada ordinarios	2	2 ½	1 ¾	0.008	SL	SL	SL	3
8. Paredes de estructura ligera (madera) revestidas con paneles estructurales de madera clasificados para resistencia al corte	6 ½	3	4	0.015	SL	SL	SL	18
9. Paredes de estructura ligera (acero conformado en frío) revestidas con paneles estructurales de madera clasificado para resistencia al corte o láminas de acero	6 ½	3	4	0.015	SL	SL	SL	18
10. Paredes de estructura ligera (acero conformado en frío) revestida con paneles estructurales de otro material con resistencia al corte.	2	2 ½	2	0.01	SL	SL	SL	3
11. Muros de corte con ladrillos sólidos de mampostería confinada	3	2 ½	2	0.006	12	9	9	6
12. Muros de corte con ladrillos huecos de mampostería confinada	3	2 ½	2	0.006	12	9	9	6
13. Muros de adobe reforzados con madera ^e	1 ½	2 ½	1 ½	0.002	6	3	NP	NP

* Los sistemas de muros de carga son aquellos que además de tener responsabilidad ante cargas laterales, también toman más del 50% de la carga gravitacional de la edificación.

Sistema Estructural	Coeficiente de modificación de respuesta, R^a	Factor de sobrerresistencia, Ω_o^b	Coeficiente de deflexión, C_d	Distorsión Máxima De piso γ_{max}	Limitaciones del sistema estructural Includiendo el límite de altura (m) ^c			
					Categoría de diseño sísmico			
					A	B	C	D
B. SISTEMAS DE MUROS ESTRUCTURALES Y MARCOS ARRIOSTRADOS								
1. Marcos de acero con arriostramiento excéntrico	8	2	4	0.025	SL	SL	SL	50
2. Marcos especiales de acero arriostrados concéntricamente	6	2	5	0.020	SL	SL	SL	50
3. Marcos ordinarios de acero arriostrados concéntricamente	3 ¼	2	3 ¼	0.015	SL	SL	SL	NP ^f
4. Muros de corte de concreto reforzado especiales	6	2 ½	5	0.02	SL	SL	SL	50
5. Muros de corte de concreto reforzado ordinario	5	2 ½	4 ½	0.01	SL	SL	SL	NP
6. Muros de corte intermedios prefabricados	5	2 ½	4 ½	0.015	SL	SL	SL	12
7. Muros de corte ordinarios prefabricados	4	2 ½	4	0.01	SL	SL	NP	NP
8. Marco compuesto con arriostramiento excéntrico ^d	8	2 ½	4	0.025	SL	SL	SL	50
9. Marcos especiales compuestos arriostrados concéntricamente ^d	5	2	4 ½	0.02	SL	SL	SL	50
10. Marcos arriostrados ordinarios compuestos	3	2	3	0.015	SL	SL	SL	NP
11. Muros de corte de mampostería reforzada especial	5 ½	2 ½	4	0.01	SL	SL	SL	50
12. Muros de corte de mampostería reforzada intermedia	4	2 ½	4	0.006	SL	SL	SL	NP
13. Muros de corte de mampostería reforzada ordinarios	2	2 ½	2	0.002	SL	SL	50	NP
14. Paredes de estructura ligera (madera) revestidas con paneles estructurales de madera clasificados para resistencia al corte	7	2 ½	4 ½	0.015	SL	SL	SL	18
15. Paredes de estructura ligera (acero conformado en frío) revestidas con paneles estructurales de madera clasificado para resistencia al corte o láminas de acero	7	2 ½	4 ½	0.015	SL	SL	SL	18
16. Paredes de estructura ligera (acero conformado en frío) revestida con paneles estructurales de otro material con resistencia al corte.	2 ½	2 ½	2 ½	0.01	SL	SL	SL	9
17. Marcos de acero arriostrado con pandeo restringido	8	2 ½	5	0.025	SL	SL	SL	50

Sistema Estructural	Coeficiente de modificación respuesta, R^e	Factor de sobrerresistencia, Ω_b	Coeficiente de deflexión, C_d	Distorsión Máxima De piso γ_{max}	Incluyendo el límite de altura (m) ^c			
					Categoría de diseño sísmico			
					A	B	C	D
C. SISTEMAS DE MARCOS RESISTENTES A MOMENTO								
1. Marcos de momento especiales de acero	8	3	5 ½	0.025	SL	SL	SL	SL
2. Marcos de momento de cerchas especiales de acero	7	3	5 ½	0.02	SL	SL	SL	50
3. Marcos de momento intermedio de acero	4 ½	3	4	0.020	SL	SL	SL	9 ^f
4. Marcos de momento ordinario de acero	3 ½	3	3	0.015	SL	SL	SL	NP ^f
5. Marcos de momento especiales de concreto armado	8	3	5 ½	0.02	SL	SL	SL	SL
6. Marcos de momento intermedios de concreto armado	5	3	4 ½	0.015	SL	SL	SL	NP
7. Marcos de momento ordinarios de concreto armado	3	3	2 ½	0.010	SL	SL	NP	NP
8. Marcos de momento especiales compuestos ^d	8	3	5 ½	0.025	SL	SL	SL	SL
9. Marcos de momento intermedio compuestos ^d	5	3	4 ½	0.020	SL	SL	SL	NP
10. Marcos de momento ordinario compuestos ^d	3	3	2 ½	0.015	SL	SL	NP	NP
D. SISTEMAS DUALES CON MARCOS DE MOMENTOS ESPECIALES CAPAZ DE RESISTIR AL MENOS EL 25% DE LAS FUERZAS SÍSMICAS PRESCRITAS								
1. Marcos de acero con arriostramiento excéntrico	8	2 ½	4	0.025	SL	SL	SL	SL
2. Marcos especiales de acero arriostrados concéntricamente	7	2 ½	5 ½	0.020	SL	SL	SL	SL
3. Muros de corte de concreto reforzado especiales	7	2 ½	5 ½	0.02	SL	SL	SL	SL
4. Muros de corte de concreto reforzados ordinarios	6	2 ½	5	0.01	SL	SL	SL	NP
5. Marco compuesto con arriostramiento excéntrico ^d	8	2 ½	4	0.025	SL	SL	SL	SL
6. Marcos especiales compuestos arriostrados concéntricamente ^d	6	2 ½	5	0.015	SL	SL	SL	SL
7. Muros de corte de mampostería reforzada especial	5 ½	3	5	0.01	SL	SL	SL	SL
8. Muros de corte de mampostería reforzada intermedia	4	3	3 ½	0.006	SL	SL	SL	NP
9. Marcos de acero arriostrado con pandeo restringido	8	2 ½	5	0.025	SL	SL	SL	SL

Sistema Estructural	Coeficiente de modificación de respuesta, R^a	Factor de sobrerresistencia, Ω_b	Coeficiente de deflexión, C_d	Distorsión Máxima De piso γ_{max}	Limitaciones del sistema estructural Includiendo el límite de altura (m) ^c			
					A	B	C	D
E. SISTEMAS DUALES CON MARCOS DE MOMENTOS INTERMEDIO CAPAZ DE RESISTIR AL MENOS EL 25% DE LAS FUERZAS SISMICAS PRESCRITAS								
1. Marcos especiales de acero arriostrados concéntricamente	6	2 ½	5	0.02	SL	SL	SL	9
2. Muros de corte de concreto reforzado especiales	6 ½	2 ½	5	0.02	SL	SL	SL	50
3. Muros de corte de mampostería reforzada ordinarios	3	3	2 ½	0.002	SL	SL	50	NP
4. Muros de corte de mampostería reforzada intermedia	3 ½	3	3	0.006	SL	SL	SL	NP
5. Marcos especiales compuestos arriostrados concéntricamente	5 ½	2 ½	4 ½	0.020	SL	SL	SL	50
6. Marcos arriostrados ordinarios compuestos ^d	3 ½	2 ½	3	0.015	SL	SL	SL	NP
7. Muros de corte de concreto reforzados ordinarios	5 ½	2 ½	4 ½	0.01	SL	SL	SL	NP
F. SISTEMAS DE COLUMNA EN VOLADIZO DETALLADOS PARA CUMPLIR CON LOS REQUISITOS DE :								
1. Sistemas de columnas en voladizo especiales de acero	2 ½	1 ¼	2 ½	0.01	10	10	10	10
2. Sistemas de columna en voladizo ordinarios de acero	1 ¼	1 ¼	1 ¼	0.007	10	10	10	NP
3. Marcos de momento especiales de concreto armado.	2 ½	1 ¼	2 ½	0.015	10	10	10	10
4. Marcos intermedios de momento de concreto armado	1 ½	1 ¼	1 ½	0.01	10	10	10	NP
5. Marcos de momento ordinarios de concreto armado	1	1 ¼	1	0.008	10	10	10	NP
6. Marcos de madera	1 ½	1 ½	1 ½	0.01	10	10	10	10
G. SISTEMAS DE ACERO NO DETALLADOS ESPECÍFICAMENTE PARA RESISTENCIA SÍSMICA								
	3	3	3		SL	SL	SL	NP

^a Coeficiente de modificación de respuesta, R, para su uso en toda la norma. El valor de R reduce las fuerzas para ser usadas de forma directa solamente en combinaciones de diseño por resistencia última.

^b Cuando el valor tabulado del factor de sobrerresistencia, Ω_0 , es mayor o igual a 2½, se permite reducir Ω_0 restando el valor de 1/2 para estructuras con diafragmas flexibles.

^c SL = Sin límite y NP = No permitido.

^d Compuestos: elemento estructural compuesto por acero estructural y concreto trabajando en acción compuesta.

^e No están permitidas estructuras de naturaleza frágil, en las cuales no exista un sistema sismorresistente dúctil, tales como las constituidas por paredes de mampostería sin suficiente refuerzo dúctil interno o externo, piedra, tapia, concreto simple, se exceptúan las construcciones de adobe para grupos de importancia I y II ubicadas en suelos tipos A, B y C, con aceleraciones máximas del terreno menores a 0.2g.

^f Los marcos de momento y los arriostrados concéntricamente de acero con detallado ordinario de un nivel y altura máxima de 20 metros y los que tienen detallado intermedio sin límite de altura son permitidos en categoría de diseño sísmico D, siempre y cuando el peso del techo y de las paredes perimetrales no sea mayor a 100 Kg/m2. Se incluyen en esta clasificación las naves industriales a base marcos resistentes a momento ordinarios a base de columnas y cerchas.

5.5.1 Tipos de sistemas estructurales

Se reconocen cinco tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica, las cuales se definen a continuación.

- **Sistemas de muros de carga:** Es un sistema en la cual los muros cargan la mayor parte de la carga gravitacional, además proporcionan rigidez y resistencia lateral en el plano del muro para resistir cargas laterales simultáneamente. En general la falta de redundancia para el soporte de las cargas verticales y horizontales hace que los valores de R sean más bajos para este sistema en comparación con otros.
- **Sistemas de marcos estructurales:** Es un sistema estructural en la cual las cargas de gravedad se transportan principalmente por un marco en lugar de muros de carga. Algunas partes de las cargas por gravedad pueden ser transportadas sobre muros de carga, pero la cantidad transportada debe representar un porcentaje relativamente pequeño del área del piso o techo. La resistencia lateral es proporcionada por muros cortantes o marcos arriostrados. En la medida en que el sistema de resistencia a la carga por gravedad proporcione una resistencia lateral adicional, mejora la capacidad de rendimiento sísmico del edificio, siempre que sea capaz de resistir las tensiones resultantes y sufrir las deformaciones asociadas.
- **Sistemas de marcos resistentes a momento:** Es un sistema estructural en la cual la viga-columna proporciona diferentes niveles de rigidez en su conexión para así proveer resistencia lateral al marco, estos se clasifican como marcos ordinarios, intermedios o especiales. En las categorías de diseño sísmico C y D, el movimiento del suelo genera en la estructura grandes desplazamientos de tal forma que incursionan a la estructura en un comportamiento inelástico, por lo que se requieren marcos resistentes a momentos intermedios y especiales diseñados y detallados para que cumplan con una respuesta dúctil en la estructura.
- **Sistemas duales:** Es un sistema estructural que tiene un marco especial o intermedio resistente a momento, combinado con muros estructurales o marcos arriostrados. Para que el sistema estructural se pueda clasificar como sistema dual se deben cumplir los siguientes requisitos:
 - a) El marco resistente a momento especial o intermedio, sin arriostramiento, debe ser capaz de soportar las cargas gravitacionales.

- b) Las cargas laterales deberán de ser resistidas por la combinación de los muros estructurales o marcos arriostrados, junto con el marco resistente a momento especial o intermedio que sea capaz de resistir como mínimo el 25% del cortante sísmico en la base del edificio.
 - 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 marcos arriostrados, pueden ser menor del 75% del cortante sísmico en la base.
- **Péndulos invertidos o sistemas estructurales con una sola línea resistente:** son sistemas estructurales en los cuales las cargas gravitacionales y las fuerzas laterales generadas por los sismos son resistidas por una o varias columnas en voladizo, empotradas en su base, y más de un 70% de su masa se encuentra concentrada en un solo nivel.

Los cinco sistemas previstos en esta norma se describen en esta sección. Cuando existan dudas sobre el comportamiento global de algún caso particular, el ingeniero deberá justificar su asignación a uno de los tipos establecidos.

COMENTARIOS

Se seleccionará un sistema estructural resistente a carga lateral y vertical conforme a uno de los tipos indicados en la [Tabla 5.5.1](#) o a una combinación de sistemas en diferentes direcciones ortogonales de la estructura, los respectivos coeficientes R, Ω_θ, C_d se aplicarán a cada sistema, incluidas las limitaciones correspondientes contenidas en la [Tabla 5.5.1](#).

5.5.2 Elección y limitación del sistema estructural

El coeficiente de modificación de respuesta R , el factor de sobrerresistencia Ω_θ y el factor de amplificación de deflexión C_d indicados en la [Tabla 5.5.1](#) se utilizarán para determinar el cortante de la base, las fuerzas para el diseño de los elementos, y el cálculo de las derivas correspondientemente.

La elección del sistema estructural, permite establecer los coeficientes de reducción de respuesta, el factor de sobrerresistencia, el coeficiente que transforma los desplazamientos elásticos en inelásticos, la distorsión máxima permitida y su aplicabilidad y/o requisitos para ser usados a diferentes categorías de diseño sísmico. Los valores que se presentan en la tabla 5.5.1, son similares a los del ASCE7-16.

COMENTARIOS

5.5.3 Combinación de sistemas estructurales

Cuando se combinen diferentes sistemas estructurales dentro de una misma edificación, deberá de tomarse el menor valor de R para cada dirección correspondiente.

COMENTARIOS

En aquellos casos en donde se combine sistemas estructurales, para tomar en cuenta el posible efecto desfavorable de la combinación, se deberá utilizar el menor valor del factor de reducción de respuesta entre ambos sistemas. Se exceptúa de esta recomendación en aquellos casos en los cuales la masa involucrada no representa una fracción importante de la edificación.

5.5.4 Sistemas estructurales alternativos

Los sistemas estructurales resistentes a carga lateral que no están incluidos en la [Tabla 5.5.1](#), podrán ser permitidos siempre y cuando el sistema cuente con un aval emitido por el Ministerio de Transporte e Infraestructura, el cual deberá de soportar la capacidad y limitaciones correspondiente al sistema empleado y de especificar los factores $R, Q_p, C_d, \gamma_{max}$. Para ello deberá de realizarse diferentes tipos de análisis para estimar el comportamiento del sistema estructural ante cargas verticales y laterales.

COMENTARIOS

Se deja claro que la [tabla 5.5.1](#) no es una limitante de los sistemas estructurales permitidos, por lo cual se permite el uso de sistemas alternativos, siempre y cuando el mismo cuente con la demostración de su efectividad en resistir solicitaciones sísmicas laterales ante la autoridad competente.

5.6 Objetivos de desempeño

El objetivo de desempeño de las edificaciones que busca esta norma es la de evitar la pérdida de vidas humanas a través de impedir el colapso de todo tipo de estructuras. Se añade el objetivo de protección en mayor medida y de garantía de funcionalidad luego de un evento sísmico extremo (ver [sección 5.1](#)) para las estructuras de ocupación esenciales y críticas.

La ingeniería sísmica basada en el desempeño busca como objetivo que los daños esperados estén dentro de márgenes preestablecidos para diferentes sismos de diseño con un aceptable nivel de confiabilidad.

Los objetivos de desempeño corresponden a los comportamientos esperados de un edificio sometido a diferentes niveles de movimiento sísmico y se definen como uno o más pares de niveles de movimiento sísmico y niveles de desempeño.

Tabla 5.6.1 - Niveles de amenaza sísmica

Nivel de sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno T_r (años)	Tasa de excedencia ($1/T_r$)	K	Coefficiente I
Servicio (moderado)	20%	225	0.004453	0.38	0.75
Diseño (severo)	10%	475	0.002105	-	1
Extremo I	5%	975	0.001025	0.36	1.3
Extremo II	2%	2475	0.000404	0.305	1.65

5.6.1 Probabilidad de excedencia vs Periodo de retorno

La fórmula que relaciona la probabilidad de excedencia " p_e " durante una vida útil en años " n " con el periodo de retorno " T_r " es la siguiente:

$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - p_e)^{1/n}} \quad (5.6-1)$$

$$p_e = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n \quad \text{o} \quad p_e = 1 - e^{\left(\frac{-n}{T_r}\right)} \quad (5.6-2)$$

5.6.2 Relación entre aceleraciones del suelo y periodos de retorno

Si conocemos una aceleración del suelo para un periodo de retorno dado, se puede determinar a través de la siguiente ecuación, un valor de aceleración de suelo proyectado con un valor de periodo de retorno diferente.

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^K \quad (5.6-3)$$

" K " debe ser un valor ajustado en función de la relación de las aceleraciones y el período de retorno determinado.

Estos valores de la [Tabla 5.6.1](#) se determinan a partir del sismo de diseño que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, equivalente a un periodo de retorno de 475 años.

5.6.3 Verificación de los objetivos de desempeño

Esta norma establece tres niveles de diseño por desempeño, que predefinen sus condiciones, atendiendo a razones económicas y de seguridad:

- **Operacional:** La edificación puede seguir operando después de la ocurrencia de un sismo. Los elementos estructurales y el equipamiento no sufrirán daños, aunque los elementos no estructurales podrán tener daños menores.
- **Seguridad de vida:** Los elementos estructurales pueden sufrir daños localizados en puntos especificados que puedan ser reparables. En todos los casos, no se producirán fallas que pongan en peligro la vida de los ocupantes.
- **Prevención de colapso:** Se refiere al diseño de las edificaciones en las que se permite que los elementos estructurales y no estructurales puedan sufrir daños importantes sin llegar al colapso. En este caso, los niveles de daños en los elementos estructurales son tan importantes que no son reparables.

Desempeño/ Nivel de sismo	Operacional	Seguridad de vida	Prevención al colapso
Servicio (moderado)	SI	NO	NO
Diseño (severo)	SI	SI	NO
Extremo I	SI	SI	SI
Extremo II	SI	SI	SI

Será necesario verificar el objetivo de desempeño sísmico de las estructuras clasificadas como categoría de riesgo IV del tipo críticas. Para ello deberá de implementarse un método de análisis inelástico según la [sección 8.3](#)

COMENTARIOS

Los diseños realizados de acuerdo con esta norma, se fundamentan en la selección de acciones sísmicas que dependen del desempeño de la instalación y de los efectos derivados de su eventual mal funcionamiento. La estrategia de diseño admite que las estructuras experimenten incursiones moderadas en el rango de deformaciones y rotaciones inelásticas, por lo cual, se requiere de consistencia entre la importancia de la estructura, el sismo de diseño, el sistema estructural seleccionado, el factor de reducción de respuesta, la categoría de diseño sísmico aplicada, considerando todos estos parámetros como un todo para evitar fallas frágiles y controlando que los desplazamientos que incluyen componentes inelásticos no excedan los valores permisibles establecidos en esta norma, de tal manera de proteger su integridad y la de las instalaciones adyacentes.

Parámetros de la acción sísmica

6

6.1 Amenaza sísmica

La sismicidad de Nicaragua se analizó en 43 zonas fuentes, para las que se ajustó un modelo de ocurrencia de tipo Gutenberg Richter modificado. Las zonas exteriores a Nicaragua (otras 37 según resultados presentados por otros autores) no tienen influencia sobre la ciudad de Managua y no fueron analizadas en este trabajo.

Los espectros de respuesta de aceleración se usaron para determinar las fórmulas de atenuación de las aceleraciones que más se acercaban a los valores registrados. Para normalizarlas todas a un mismo valor de $V_{S_{30}}$ se le añadió a cada una corrección lineal determinada por ajuste de residuos. Entre las fórmulas analizadas se escogieron 5 (3 para terremotos corticales y 2 para terremotos profundos). En total se prepararon 24 variantes diferentes de combinaciones de sismicidad y atenuación que se procesaron con técnicas de árbol lógico de decisión en una malla de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$.

Los resultados primarios (frecuencia de ocurrencia de eventos de diferente valor de ERA) se procesaron con estadística muestral y se seleccionó como solución la correspondiente al percentil 84 de la distribución de valores. A partir de estos últimos resultados se prepararon los ERA para diferentes períodos de retorno (T_p) que se emplearon para definir los parámetros del espectro de diseño presentado en esta norma, en un proceso que incluyó el uso de técnicas de clasificación no supervisada por métodos lógico-combinatorios.

El cálculo de la peligrosidad sísmica se ha realizado a partir de los datos actualizados existentes en el catálogo sísmico disponible por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales INETER para determinar la aceleración horizontal característica.

Para los fines de esta norma, las autoridades nacionales subdividirán sus territorios nacionales en zonas sísmicas en función de la peligrosidad local. Por definición, la peligrosidad dentro de cada zona se puede suponer constante, en el anejo 18 se podrá encontrar la amenaza por cada municipio de la República de Nicaragua.

La aceleración de cálculo del terreno, seleccionada para cada zona sísmica por las autoridades nacionales, corresponde a un período de retorno de 475 años. A este período de retorno se le asigna un factor de importancia (I) igual a 1.0. Para diferentes períodos de retornos se puede remitir a la [Tabla 5.6.1](#) y [Ecuación 5.6.1](#).

Las zonas sísmicas con una aceleración de cálculo del terreno a_0 no mayor a $0.1g$ son zonas de baja sismicidad, para las cuales y para ciertos tipos o categorías de estructuras pueden utilizarse métodos de cálculo sismorresistente reducidos o simplificados.

6.2 Zonificación sísmica para Nicaragua

La zonificación sísmica o peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica de la Ilustración 6.2 2. Dicho mapa suministra a_0 , expresada en relación al valor de la gravedad, g , la aceleración sísmica básica, a_0 —un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno— y el coeficiente de contribución F_{as} , que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos suelos. La tabla del [anexo 14.2](#) detalla por municipios los valores de la aceleración sísmica básica para cada municipio de la República de Nicaragua, junto con la zonificación correspondiente, que se deberá usar

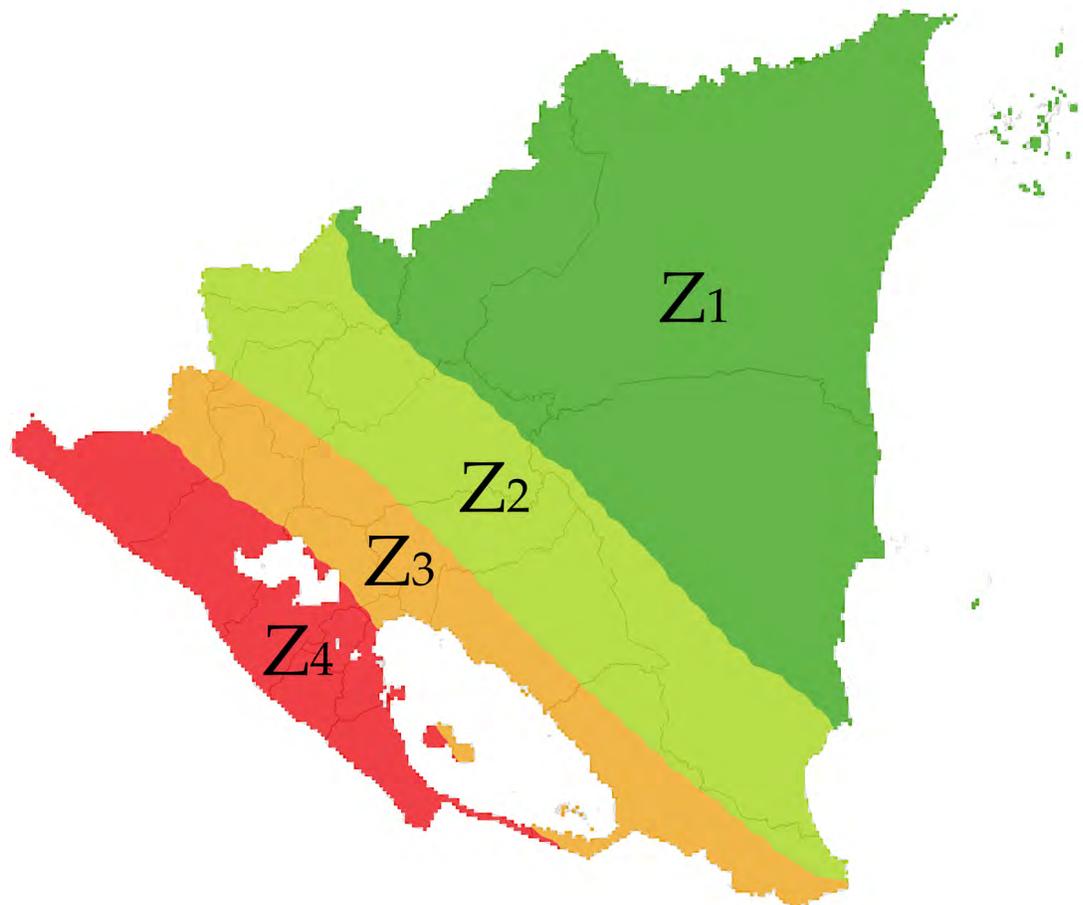


Figura 6.2 1 - Mapa de Zonificación Sísmica para Nicaragua

Tabla 6.2.1 - Zonificación Sísmica para Nicaragua

PGA o a_0 en g

$a_0 < 0.17$

$0.17 \leq a_0 < 0.23$

$0.23 \leq a_0 < 0.315$

$a_0 \geq 0.315$

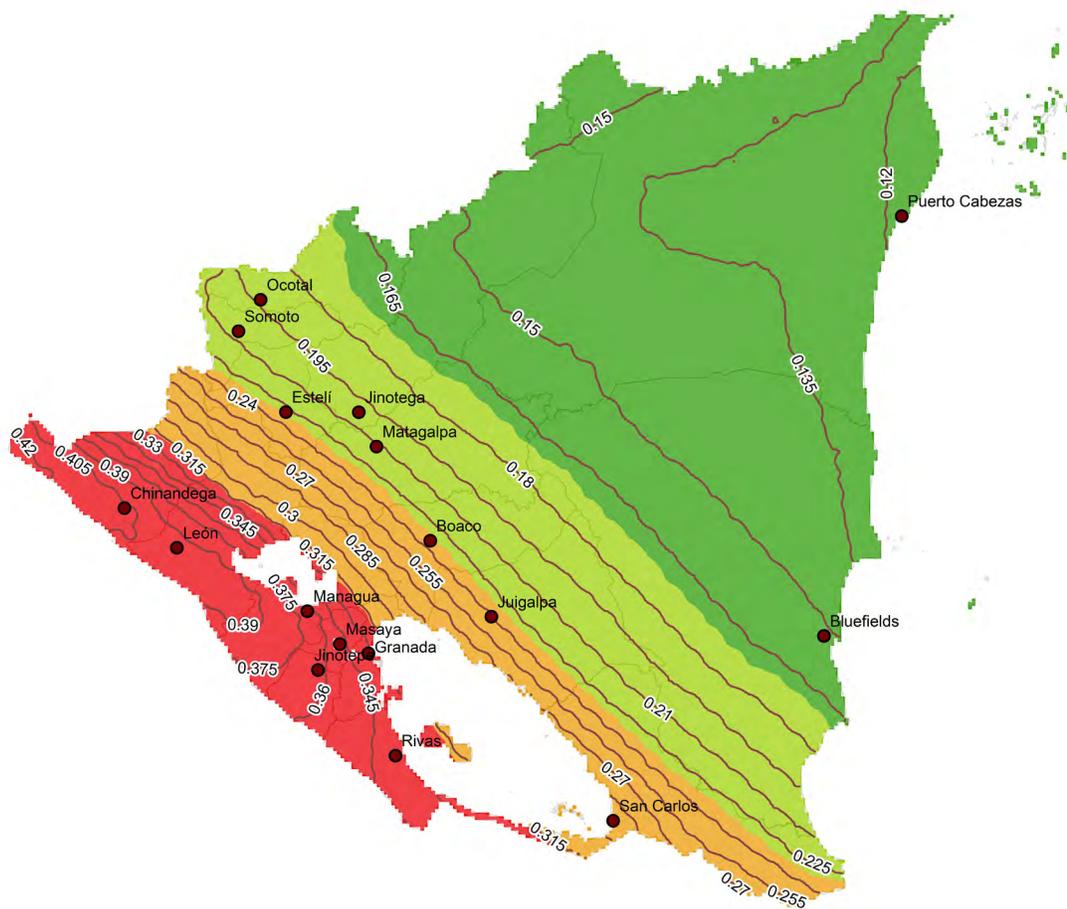


Figura 6.2 2 - Mapa de las aceleraciones para Nicaragua (a_0) para un período de retorno de 475 años

6.3 Clasificación de sitio

6.3.1. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico

Se definen cinco tipos de perfil de suelo indicados en la [Tabla 6.3.1](#) de esta sección.

Suelo tipo E. Cuando se cumplan alguna de las condiciones mostradas en la [Tabla 6.3.1](#) para la clasificación del suelo tipo E, se aplicarán criterios, como los expuestos en la [sección 13](#) disposiciones técnicas para estudios de sitio. Sera obligado realizar un estudio de respuesta sísmica del sitio.

Suelo tipo C, D, E. La existencia de suelos tipo C, D y E se clasificará mediante los siguientes métodos: Velocidades de ondas de corte V_s y/o el número de golpes del ensayo de penetración estándar \bar{N} o usando la resistencia al corte sin drenar, S_u . Esta norma sugiere el estudio de geofísica para la clasificación del tipo de suelo.

Suelo tipo B. La velocidad de onda de corte para la roca, se medirá en el sitio o la calculará un profesional en el área para rocas competentes con fracturación y meteorización moderadas. Para roca más blanda se debe medir en el sitio para determinar la velocidad de onda de corte o clasificarse como Suelo tipo C.

Suelo tipo A. Para esta categoría se apoyará en la medición de la velocidad de onda de corte en el sitio o en perfiles del mismo tipo de roca en la misma formación con un grado igual o mayor de erosión y fractura.

Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30m superiores del perfil, para los perfiles tipo A, B, C, D, y E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice i que va desde 1 en la superficie, hasta n en la parte inferior de los 30m superiores del perfil.

En los edificios con sótanos bajo el nivel general de la superficie del terreno, los espesores de las distintas capas para clasificar las condiciones de cimentación deben, normalmente, medirse a partir de la rasante.

Tabla 6.3.1 - Clasificación por tipo de suelo

Clasificación del sitio	Descripción	Definición		
		Velocidad de onda de corte V_s (m/s)	Resistencia de penetración estándar \bar{N}	Resistencia al corte del suelo sin drenar S_u (kg/cm ²).
A	Roca rígida	$V_s > 1500$	N/A	N/A
B	Roca	$760 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
C	Suelo muy Denso y Roca Blanda	$360 < V_s \leq 760$	$\bar{N} > 50$	$S_u \geq 1.0$
D	Suelo Rígido	$180 < V_s \leq 360$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$0.5 \leq S_u \leq 1.0$
E	Suelo Blando	$V_s < 180$	$\bar{N} < 15$	$S_u < 0.5$
E	-	Además, se considerará un suelo tipo E, cualquier capa de suelo con más de 3m que tenga las siguientes características. 1. Índice de Plasticidad $PI > 20$ 2. Contenido de humedad $w \geq 40\%$ 3. Resistencia al cortante sin drenar $S_u < 0.2$ kg/cm ²		

Nota: Para determinar la velocidad de onda de corte hasta los 30m (V_{s30}) se deberá aplicar estudios de geofísica según lo indica la [sección 13.3](#) de esta norma. Para clasificar el suelo se podrá correlacionar los datos con el número de golpes de la prueba SPT, o con la resistencia al corte del suelo no drenado para estructuras clasificadas con categoría de riesgo I y II. Para el caso de la zona urbana de managua de podran utilizar los valores del anexo 14.3 y 14.4.

Para estructuras clasificadas como III y IV es obligatorio realizar estudios de geofísica para la obtención del V_{s30} y así clasificar el suelo en función de dicho parámetro.

Si la estructura es clasificada como categoría de riesgo I y II podrán correlacionarse los datos para clasificar el suelo según la Tabla 6.3.1.

COMENTARIOS

El perfil de suelo multi estrato debe ser explorado y estudiado hasta una profundidad de no menor a 30m y se puede aproximar su valor con las siguientes fórmulas para la caracterización y clasificación del suelo.

$$V_{s30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (6.3-1)$$

$$N_{60} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_{60i}}} \quad (6.3-2)$$

$$S_u = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{S_{ui}}} \quad (6.3-3)$$

Donde: n = número de estratos y d_i = espesor del estrato i .

6.4
Factores de
amplificación por
tipo de suelo F_{as}

Tabla 6.4.1 - Factores de amplificación vertical por tipo de suelo

Zona Sísmica	Tipo de Suelo				
	A	B	C	D	E
Z_1	0.8	1	1.4	1.7	2.2
Z_2	0.8	1	1.4	1.6	2.0
Z_3	0.8	1	1.4	1.5	ver nota
Z_4	0.8	1	1.3	1.4	ver nota

Nota: clasificación de tipo de suelo E, deberá de realizarse un estudio de respuesta sísmica de sitio ver [sección 13.5](#), para estimar la amplificación del suelo, determinando la función de transferencia. Para las Z_1 y Z_2 podrá usarse dichos valores, pero queda a disposición del ingeniero geotécnico y estructural. Esta norma considera obligatorio realizar el estudio mencionado siempre que sea necesario.

COMENTARIOS

Según el Informe de geofísica y respuesta sísmica de sitio MTI 2021 los estudios de respuesta sísmica se realizaron para la ciudad de Managua, con registros sísmicos escalados a una aceleración de 0.5g lo que equivale a una zona de alta sismicidad como Z4 y para suelos clasificados como C y D, por tanto, los coeficientes 1.3 y 1.4 han sido determinados en dicho informe, el resto de valores tienen que ser determinados, en la [Tabla 6.4.1](#) los valores propuestos son proyectados, que serán determinados cuando se estudien las demás zonas del país.

6.5
Factor de ajuste
espectral por
comportamiento
de los suelos

Tabla 6.5.1 - Factor de ajuste espectral FS para T_b y T_c

Clasificación del sitio	FS_{T_b}	FS_{T_c}
A	1	5/6
B	1	1
C	1	4/3
D	2	5/3

Este factor ajusta los valores del periodo que definen la meseta del espectro de diseño, en el cual toma en cuenta el incremento en la abscisa del espectro de respuesta debido a la pérdida de rigidez del suelo.

Al igual que el caso anterior de los factores de amplificación vertical del suelo, los valores de FS_{T_b} y FS_{T_c} de la [Tabla 6.5.1](#) deberán ser determinados para las diferentes zonas del país en la segunda fase del proyecto.

COMENTARIOS

El coeficiente de modificación de respuesta R para los distintos sistemas estructurales mostrados en la [Tabla 5.5.1](#), dependen de la ductilidad, sobrerresistencia, redundancia y amortiguamiento en función de cada sistema estructural, además de los elementos y materiales que lo componen. Este factor deberá de ser reducido en caso de presentarse alguna irregularidad en la estructura según se describió en la [sección 5.4](#).

**6.6
Factor de comportamiento sísmico del sistema estructural R_o**

$$R_o = R \Phi_p \Phi_E \tag{6.6 1}$$

En ningún caso R_o deberá de ser menor que la unidad.

Esta Norma establece un espectro normalizado de respuesta elástica de aceleraciones $A_{(T)}$ en la superficie libre del terreno ([Figura 6.7 1](#)), para aceleraciones horizontales expresada como fracción de la gravedad, correspondiente a un oscilador lineal simple con un amortiguamiento de referencia del 5% respecto al crítico, definido por los siguientes valores:

**6.7
Espectro de respuesta elástico**

$$A_{(T)} \begin{cases} A_0 \left[1 + \frac{T}{FS_{T_b} \cdot T_b} (\beta - 1) \right] & 0 \leq T \leq FS_{T_b} \cdot T_b \\ \beta A_0 & FS_{T_b} \cdot T_b \leq T \leq FS_{T_c} \cdot T_c \\ \beta A_0 \left(\frac{FS_{T_c} \cdot T_c}{T} \right)^p & FS_{T_c} \cdot T_c \leq T \leq T_d \\ \beta A_0 \left(\frac{FS_{T_c} \cdot T_c}{T} \right)^p \left(\frac{T_d}{T} \right)^q & T_d \leq T \end{cases} \tag{6.7-1}$$

Siendo:

A_0 : Valor de la aceleración del terreno con la influencia del suelo y la importancia de la estructura.

β : cociente de la aceleración ($a(\text{meseta})/ a_0$)

p, q : son los exponentes que definen la forma del espectro para un período de vibración mayor de T_c, T_d respectivamente;

T_a, T_b, T_c Períodos característicos del espectro de respuesta

I : Factor de importancia

Donde:

$$A_0 = a_0 F_{as} I$$

$$T_b = 0.05 \text{ s}$$

$$\beta = 2.4$$

$$T_c = 0.3 \text{ s}$$

$$p = 0.8$$

$$T_d = 2 \text{ s}$$

$$q = 2$$

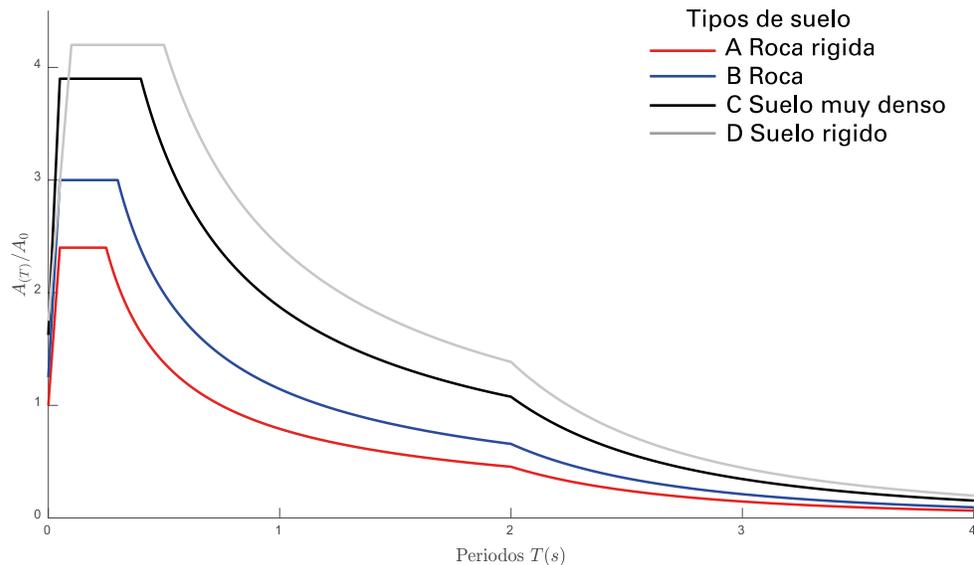


Figura 6.71 - Espectro de diseño elástico normalizado para las distintas zonas sísmicas

Para algunas estructuras y modos de vibración con períodos superiores a 4 segundos, el proyectista podrá utilizar, siempre que lo justifique, valores espectrales menores de los predichos por las expresiones anteriores.

A no ser que estudios específicos indiquen lo contrario, la componente vertical de la acción sísmica debe representarse por el espectro de respuesta, tal como se define para la acción sísmica horizontal, Y, cuando sea preciso considerar movimientos verticales, se adoptará un espectro de respuesta elástica cuyas ordenadas espectrales sean el 70% de los valores correspondientes a las del espectro para movimientos horizontales definido en [sección 6.7](#)

6.8
Espectro de respuesta elástica para movimientos verticales

El espectro reducido para diseño, es el que resulta al dividir las ecuaciones del espectro de diseño elástico por el factor de comportamiento sísmico. $\frac{A_{(T)}}{R_0}$ Excepto para la primera rama ascendente, cuyo valor sería:

6.9
Espectro de diseño reducido

$$A_{(T)} = \left[\frac{A_0 T}{FS_{T_b} \cdot T_b} \left(\frac{\beta}{R_0} - 1 \right) \right] + A_0 \tag{6.9-1}$$

Válido para períodos comprendidos $0 \leq T \leq FS_{T_b} \cdot T_b$

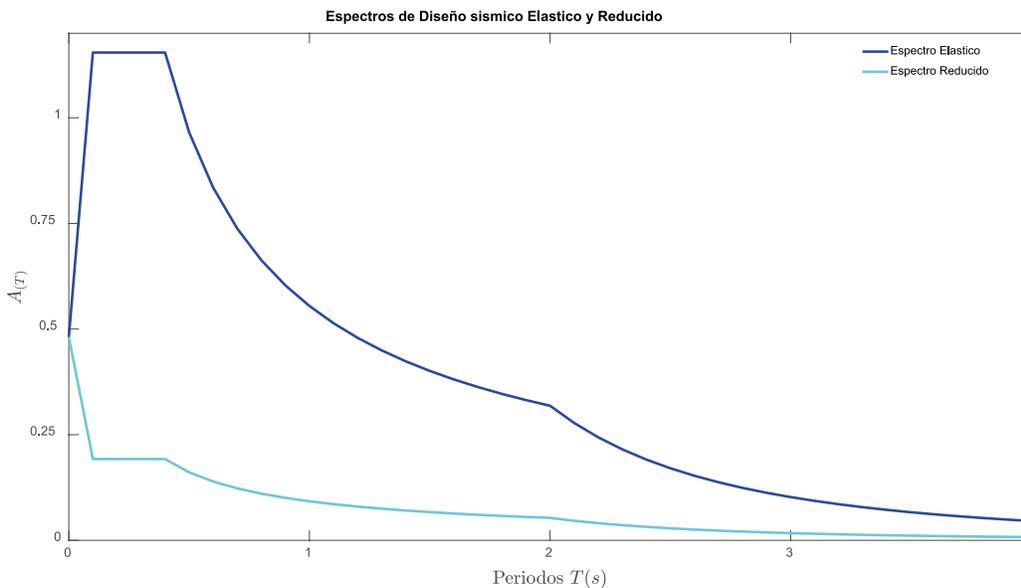


Figura 6.9.1 - Espectro de diseño elástico y reducido

6.10 Verificación de la seguridad

Se comprobarán los estados límite últimos con las combinaciones de acciones, incluyendo la acción sísmica, que fijen las diferentes instrucciones, normas y/o reglamentos nacionales para cada tipo de material. Se utilizarán los coeficientes de seguridad y simultaneidad establecidos en ellas.

En el caso de que dichos coeficientes no estén fijados expresamente en las citadas instrucciones, normas y/o reglamentos, para la combinación de la acción sísmica con las restantes acciones se considerará la hipótesis sísmica como una situación accidental, ponderando para el cálculo de los estados límite últimos todas las acciones variables desfavorables y permanentes con coeficientes de mayoración iguales a la unidad, y las variables favorables con cero.

La construcción debe resistir la acción horizontal del sismo en todas las direcciones, lo que obliga a analizarlo en más de una dirección. En general basta hacerlo en dos direcciones ortogonales en planta; en este caso, las solicitaciones obtenidas de los resultados del análisis en cada dirección se combinarán con el 30% de los de la otra. Las solicitaciones verticales y en planta se podrán considerar como casos de carga independientes.

En los edificios no exentos se calcularán también los desplazamientos horizontales debidos a la acción sísmica de cálculo, en las direcciones en que puedan producirse choques con las construcciones colindantes.

Podrá hacerse un estudio específico para considerar la interacción suelo-estructura sin que con ello pueda reducirse la acción sísmica más de un 30% del valor que se obtendría con la construcción supuesta sobre base rígida.

Para tipos específicos de estructuras, puede ser necesario tener en cuenta la tolerancia de la variación espacial y temporal del movimiento del suelo (Puentes, torres, mástiles, silos, depósitos, tuberías).

Para los tipos específicos antes mencionados y estructuras especiales con alta sismicidad cualquier municipio pueden utilizarse representaciones alternativas del movimiento sísmico, por ejemplo, el espectro de potencia o acelerogramas de cálculo (registros historia-tiempo), (véase [sección 13.5](#)).

El movimiento sísmico en un punto dado de la superficie del suelo puede representarse también como un proceso aleatorio, definido por un espectro de potencia –esto es, la función de densidad espectral de potencia del proceso de aceleración– asociado con una cierta duración y consistente con la magnitud y otras características relevantes del terremoto.

6.11 **Representación** **alternativa de la** **acción sísmica**

El espectro de potencia será consistente con el espectro elástico de diseño utilizado para la definición básica de la acción sísmica de acuerdo con la [sección 6.7](#).

6.11.1 **Representación** **del espectro de** **potencia**

Se considera que se ha logrado la consistencia cuando los valores del fractil 50% de la distribución de los máximos de la respuesta de un sistema con un único grado de libertad sometido a un proceso aleatorio definido por el espectro de potencia, coincida, con una tolerancia de $\pm 10\%$ y en el rango de períodos de T_a a T_c , con las ordenadas del espectro elástico de respuesta dado en la [sección 6.7](#).

El movimiento sísmico consistirá en tres procesos aleatorios independientes, actuando simultáneamente a lo largo de dos ejes x e y horizontales, ortogonales y elegidos arbitrariamente, y del eje vertical z, estando además este proceso escalado apropiadamente de acuerdo con la [sección 6.7](#).

La acción sísmica podrá ser representada como una función historia tiempo (registros sísmicos) el cual deberá de cumplir con las disposiciones correspondiente a la [sección 13.5.2](#)

6.11.2 **Acelerogramas** **reales y/o** **artificiales**

7 Cargas y Combinaciones

7.1 - 7.1.1 Cargas variables

Se considerarán cargas variables las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente. Deberán ser consideradas en el diseño las cargas variables más altas que probablemente ocurran, pero en ningún caso menores que las cargas variables uniformemente distribuidas listadas en la [Tabla 7.1.1](#). En el caso de las cargas variables que no estén contempladas en esta tabla será responsabilidad del ingeniero diseñador fijar un valor y documentarlo correctamente en la memoria de cálculo.

Las cargas especificadas no incluyen el peso de muros divisorios de ningún tipo como mampostería o de otros materiales, ni el de muebles, equipos u objetos de peso fuera de lo común, como cajas fuertes de gran tamaño, archivos importantes, libreros pesados o cortinajes en salas de espectáculos. Cuando se prevean tales cargas deberán cuantificarse y tomarse en cuenta en el diseño en forma independiente de la carga variable especificada considerándola cargas permanentes adicionales. Los valores adoptados deberán justificarse en la memoria de cálculo e indicarse en los planos estructurales.

Para la aplicación de las cargas variable unitarias se deberá tomar en cuenta las siguientes disposiciones:

1. La carga variable denominada CV se deberá emplear para diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en suelos, así como en el diseño estructural de las cimentaciones ante cargas gravitacionales.
2. Cuando el efecto de la carga variable sea favorable para la estabilidad de la estructura, como en los casos de flotación, de volteo y de succión por viento, su intensidad se considerará nula sobre toda el área.
3. Las cargas variable uniformes de la [Tabla 7.1.1](#) (Cargas Variable Unitarias Mínimas) se considerarán distribuidas sobre el área tributaria de cada elemento, entendiéndose por área tributaria: el área que incide con su carga unitaria sobre el elemento en referencia, de acuerdo al tipo de losa o cubierta propuesta.

Tabla 7.1.1 Cargas Variables Unitarias Minimias kg/m²

DESTINO		MÁXIMO (CV)	NOTAS
Residencial (casas, apartamentos, cuartos de hoteles, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales)		200	(1)
Salones de clase:	Escuelas primarias, Preescolares	250	
	Secundaria y universidad	250	
Hospitales (salas y cuartos), Asilos, Centros de Salud y Clínicas		200	
	Salas de Operación	400	
Oficinas:	Despachos	250	(2)
	Salas de Archivo	500	
Bibliotecas:	Salones de Lectura	300	
	Salón de Libros	600	
Lugares de Reunión: Salones de Baile, gimnasios, restaurantes, museos y Salas de juegos		400	
Auditorios, Cines, Templos: Sillas Fijas		350	
	Sillas móviles	500	
Teatros:	Vestíbulos	200	
	Piso del escenario	700	
	Graderías y tribunas	500	
Lugares de Comunicación para peatones (Pasillos, escaleras, rampas de parqueo y pasajes de acceso libre al público);		500	(1)
Estadios y lugares para espectáculo provisto de gradas (desprovisto de bancas o butacas)		500	
Laboratorios		250	
Comercio:	Ligero	350	(2)
	Semipesado	450	(2)
	Pesado	550	(2)
Fábrica y Talleres:	Ligero	400	(2)
	Semipesado	500	(2)
	Pesado	700	(2)
Bodegas:	Ligero	450	(2)
	Semipesado	650	(2)
	Pesado	1,000	(2)
Techos de losas con pendiente no mayor de 5%		100	(3)
Techos de losas con pendiente mayor de 5%		50	(3)
Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente, altura controlada a 2.40 m)		250	(4)
Andamios temporales para la construcción		150	(5)
Marquesinas, balcones y similares		500	

OBSERVACIONES A LA TABLA 1:

(1) Para el diseño de los pretilos y barandales en escaleras, rampas, pasillos y balcones, se deberá fijar una carga por metro lineal no menor de 100 kg/m actuando al nivel de pasamanos y en la dirección más desfavorable

(2). La carga variable unitaria CV, deberá especificarse en placas metálicas colocadas en lugares fácilmente visibles de en cada nivel de la edificación

El tipo de categoría liviano, semipesado y pesado, se deberá de respaldar con un censo de cargas del material a almacenar o fabricar, este estudio de carga será parte integral de la memoria de cálculo estructural y según el valor del censo de cargas se tomará la categoría más cercana al valor, en caso de no conocer el uso final de la instalación por ser para alquiler u otra razón se utilizará la categoría semipesado y se dejará constancia en la memoria de cálculo de dicha elección.

(3). Las cargas variables especificadas para cubiertas y azoteas no incluyen las cargas producidas por recipientes de agua y anuncios, ni las que se deben a equipos u objetos pesados que puedan apoyarse o colgarse. Estas cargas deben preverse por separado y especificarse en los planos estructurales. Adicionalmente los elementos secundarios de las cubiertas y azoteas deberán revisarse con una carga concentrada de 100 kg aplicada en la posición más crítica.

(4). Más una carga concentrada de 1,500 kg en el lugar más desfavorable del miembro estructural principal o secundario.

(5) Esta carga aplica únicamente a andamios de uso del personal, es decir sin equipos pesados. Adicionalmente el constructor deberá garantizar la integridad y estabilidad estructural de los elementos temporales para la correcta construcción del proyecto tales como formaletas, armaduras de acero, puntales de apoyo, etc.

COMENTARIOS

Las cargas variables definidas en esta sección deben ser consideradas mínimas, dado que en la práctica se presentan casos no contemplados en esta sección queda a juicio del diseñador estructural los valores para esos otros casos y documentar en la memoria de cálculo el porqué del valor usado.

Se aclara que cuando se trate de estructuras fuera del alcance de esta norma las cargas que se deben usar son las indicadas por los códigos específicos de las mismas, es decir si se está diseñando un puente se deberán usar las cargas de AASHTO o si es una torre de telecomunicación la ANSI/TIA y así para las demás estructuras no contempladas en este código.

COMENTARIOS

Los valores especificados se establecieron consultando las normas de la región y considerando los valores más frecuentes en dichas normas, posteriores revisiones de estos valores para casos específicos del país podrían presentarse.

Las cargas variables correspondientes a la construcción que son necesarias de estimar para la correcta dimensión de elementos auxiliares para la construcción tales como formaletas o tensores temporales, se deben estimar por parte de un calculista contratado por el constructor el cual debe estar en estrecha relación con el contratista y su metodología constructiva.

1. Las barandas y parapetos serán diseñados para resistir la aplicación simultánea o no de las fuerzas indicadas en la Tabla 7.1.2, ambas aplicadas en su parte superior, tomándose la combinación y sentido más desfavorable.

7.1.2 Casos especiales

Tabla 7.1.2 - Diseño de barandas y parapetos

Barandas y Parapetos	Carga Horizontal (kg / m)	Carga vertical (kg / m)
Pozo para escaleras, balcones y estructuras en general	100	60
Viviendas unifamiliares	100	30
Balcones de teatro y lugares de asamblea	100	150
Baranda o topes de estacionamiento	500	60

2. Cuando las barandas y parapetos soporten equipos o instalaciones se tomarán en cuenta las cargas adicionales que estos impongan
3. Las barandas, parapetos o topes que se usan en zonas de estacionamiento para resistir el impacto de los vehículos en movimiento serán diseñados para soportar una carga horizontal aplicada por lo menos 60 cm encima de la pista.

4. Columnas en zonas de estacionamiento. A no ser que se les proteja de manera especial, las columnas en las zonas de estacionamiento o que estén expuestas a impacto de vehículos en movimiento, serán diseñadas para resistir la carga lateral debida al impacto de vehículos. Para los vehículos de pasajeros, esta carga lateral será como mínimo 1,500 kg, aplicada por lo menos 60 cm encima de la pista.
5. Jardineras. Cuando los techos tengan jardines en macetas, la carga viva mínima de diseño de las porciones con jardín será de 200 kg/m² en casos diferentes se deberá considerar el peso de la tierra saturada como carga permanente. El peso de los materiales del jardín será considerado como carga permanente.

Las zonas adyacentes de las porciones con jardín serán consideradas como áreas de asamblea, a no ser que haya disposiciones específicas permanentes que impidan su uso.

6. Cuando se coloque algún anuncio o equipo en un techo, el diseño tomará en cuenta todas las acciones que dicho anuncio o equipo ocasione.

7.1.3 Cargas Variables Móviles

7.1.3.1 Vehículos y camiones

Las cargas variables de vehículos y camiones en puentes se deberá usar la norma AASHTO en su versión más reciente.

En el caso de parqueos y rampas de altura restringida se deberá usar al menos los valores indicados en la [Tabla 7.1.1](#). Para los casos fuera de esta condición se deberán usar las cargas que estipula la AASHTO.

7.1.3.2 Puentes - Grúa

1. **Cargas Verticales:** La carga vertical será la máxima real sobre rueda cuando la grúa esté izando a capacidad plena. Para tomar en cuenta el impacto, la carga izada se aumentará en 25 % o la carga sobre rueda aumentará en 15 %, la que produzca mayores condiciones de esfuerzo.

2. **Cargas Horizontales:** La carga transversal, debida a la traslación del carro del puente-grúa, será el 20% de la suma de la capacidad de carga y el peso del carro, aplicada la mitad de dicha carga en la parte superior de cada riel y actuando en ambos sentidos perpendicularmente a la vía de rodadura y debe ser distribuida proporcionalmente a la rigidez lateral de las estructuras que soportan los rieles.

3. La carga longitudinal debida a la traslación de la grúa, será el 10% de la reacción máxima total sin incluir el impacto, aplicada en la parte superior del riel y actuando en ambos sentidos paralelamente a la vía de rodadura.

1. **Cargas Verticales:** Las cargas verticales será la suma de la capacidad de carga y el peso del tecla. Para tomar en cuenta el impacto, la carga vertical se aumentará en 10 % para tecles manuales y en 25 % para tecles eléctricos. **7.1.3.3 Tecles Monorrieles**

- 2 **Cargas Horizontales:** La carga transversal será el 20 % de la suma de la capacidad de carga y el peso del tecla.

Se aplicarán las cargas reales determinadas mediante análisis o usando los datos indicados en los diseños y catálogos del fabricante.

7.1.3.4 Ascensores, Montacargas y Escaleras Mecánicas

Para tomar en cuenta el impacto, las reacciones de las unidades a motor de combustión se aumentarán por lo menos en 50 % del peso del mismo y las de unidades a motor eléctrico se aumentarán por lo menos en 25 %, ambos casos en el sentido más desfavorable. Adicionalmente se deberá considerar las vibraciones que estos puedan producir en las estructuras, para ello se tomarán en cuenta las especificaciones del fabricante.

7.1.3.5 Impacto de Motores

7.1.3.6 Asientos en lugares de Auditorios

Los asientos y las zonas donde están instalados, en tribunas, estadios y otros lugares de asamblea, serán diseñados para resistir la aplicación simultánea de una carga de oscilación horizontal de 40 kg por metro lineal de asiento en una dirección paralela a la hilera de asientos, combinada con 15 kg, por metro lineal de asiento en una dirección perpendicular a la hilera de asientos, aplicadas ambas a la mitad de la altura del respaldar, esta carga será adicional la especificada en [tabla 7.1.2](#).

7.1.4 Presiones de tierra y Presión Hidrostática

Todo muro de contención o sótano será diseñado para resistir, en adición a las cargas verticales que actúan sobre él, la presión lateral del suelo y sobrecargas producto de carga variable o permanente adicional y sismo, en el caso de la sobrepresión del sismo se deberá calcular al menos mediante la metodología de mononobe-okabe. Para la presión hidrostática se deberá considerar el correspondiente máximo nivel probable del agua freática. Se considerarán las sub-presiones causadas por la presión hidrostática. Para el cálculo de la magnitud y ubicación de las presiones laterales del suelo se podrá emplear cualquiera de los métodos aceptados en la Mecánica de Suelos.

Para valuar el empuje de un líquido sobre la superficie de contacto con el recipiente que lo contiene se supondrá que la presión normal por unidad de área sobre un punto cualquiera de dicha superficie es igual al producto de la profundidad de dicho punto con respecto a la superficie libre del líquido por su peso volumétrico.

Suelos expansivos: Cuando existan suelos expansivos bajo cimentaciones de la edificación, o bajo losas apoyadas sobre el terreno, la cimentación, las losas y los otros elementos de la edificación, deben diseñarse para que sean capaces de tolerar los movimientos que se presenten, y resistir las presiones ascendentes causadas por la expansión del suelo, o bien los suelos expansivos deben retirarse o estabilizarse debajo y a los alrededores de la edificación, de acuerdo con las indicaciones del ingeniero geotecnia.

Zonas inundables: En aquellas zonas designadas por la autoridad competente como inundables, el sistema estructural de la edificación debe diseñarse y construirse para que sea capaz de resistir los efectos de flotación y de desplazamiento lateral causados por los efectos hidrostático y de impacto de objetos flotantes.

Para el caso de techos livianos de cubiertas onduladas (incluyendo la teja de barro), los elementos estructurales resistentes (tales como cuartones de madera o perlines metálicos), podrán ser diseñados para los efectos que resulten de la superposición de una carga concentrada de 100 Kg. En la mitad del claro del miembro resistente, más una carga uniformemente distribuida de 10 Kg/ m².

7.1.5 **Carga variable en techos y pisos livianos**

Para el caso de elementos estructurales principales (tales como cerchas, marcos y vigas principales) que soportan techos livianos de cubiertas onduladas, se considerará una carga concentrada de 200 Kg. Que se aplicará en la mitad del claro del elemento resistente, independientemente de la posición de la cumbrera cuando posee dos vertientes. Se adicionará una carga uniformemente distribuida de 10 Kg/m².

7.1.5.1 **Techo liviano**

Para efecto de sismo, tanto para la masa como para las combinaciones no se debe considerar la carga variable de techo.

Para sistemas de piso ligeros con cubierta rígida, se considerará en lugar de CV, cuando sea más desfavorable, una carga concentrada de 250 kg para el diseño de los elementos de soporte y de 100 kg para el diseño de la cubierta, en ambos casos ubicadas en la posición más desfavorable. Se considerarán sistemas de piso ligero aquéllos formados por tres o más miembros aproximadamente paralelos y separados entre sí no más de 0.80 m y unidos con una cubierta de madera contrachapada, de tablas de madera bien clavadas, fibrocemento u otro material que proporcione una rigidez equivalente.

7.1.5.2 **Entrepisos livianos**

7.1.6 Reducción de cargas variables

7.1.6.1 Cargas variables de 500 Kg/m² o menores.

Se permite la reducción de cargas variables menores a 500 kg/m² a excepción de los techos o cubiertas y garajes o parqueos. El factor de reducción se calcula únicamente para áreas tributarias "At" mayores a 36 m² y tendrá un valor según la fórmula de:

$$R_{cv} = \left(0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{cv} * A_t}} \right) \geq 0.5 \quad (7.1-1)$$

Donde:

K_{cv} = Coeficiente de reducción por elemento.

R_{cv} = factor de reducción de la carga variable, nunca tendrá un valor menor de 0.5.

Tabla 7.1.3 - Coeficiente de reducción por elemento

ELEMENTO	K_{cv}
Columna interior	4
Columna exterior sin losa en voladizo	4
Columna exterior con losa en voladizo	3
Vigas interiores y exteriores sin voladizo	2
Demás elementos	1

7.1.6.2 Cargas variables mayores de 500 Kg/m²

Para cargas variables que excedan los 500 Kg/m², no se podrán hacer reducciones, excepto que las cargas variables de diseño en las columnas las que podrán reducirse hasta un 20% siguiendo el cálculo de los especificado en 7.1.6. es decir R_{cv} no será menor a 0.8.

Las cargas de viento se determinarán según el título IV del RNC-07

7.2 Cargas de vientos

Es obligatorio el uso de la carga debida a ceniza en cualquier zona del país que esté expuesta a recibir ceniza volcánica (considerar los mapas de amenaza de INETER donde indique probabilidad de ceniza) deberá tomarse en cuenta dicha sobrecarga para efectos de diseño, adicional a la carga viva y a cualquier otra carga presente. Se recomienda una sobrecarga mínima debido a ceniza en estado húmedo de 20 Kg/m².

7.3 Cargas debidas a ceniza volcánica

En las limahoyas y zonas de la cubierta, en donde pueda acumularse anormalmente la ceniza por deslizamiento de los techos concluyentes, o por efecto del viento o de la lluvia, se calculará la sobre carga debido a las acumulaciones previsibles.

Se considera la posibilidad de que la sobrecarga de la ceniza gravite con valor distintos sobre zonas parciales de la cubierta a causa de depósitos desiguales, arrastre de viento u otras causas.

Se considera cargas permanentes al peso propio de estructura y la carga adicional a la estructura que es fija o tenga carácter permanente (equipos, acabados, fachadas etc.). En la [Tabla 7.4.1](#) se proponen pesos mínimos a considerar en el cálculo de las mismas.

7.4 Cargas permanentes

En esta sección se proponen valores mínimos para ciertos materiales y sistemas constructivos, se deberá dejar constancia de los valores usados en la memoria de cálculo y documentar el porqué de un valor de otro material o sistema no definido en esta sección.

COMENTARIOS

Tabla 7.4.1 - Cargas Permanentes

CUBIERTAS DE TECHO (INCLUYE MATERIAL FIJADO)			
Conceptos	Peso (kg/m²)	Conceptos	Peso (kg/m²)
Zinc corrugado calibre 28	3.6	Asbesto Cemento o Fibrocemento, lámina ondulada 6 mm	18
Zinc corrugado calibre 26	5.4	Asbesto cemento autoportante tipo Canaleta	19
Zinc corrugado calibre 24	6.1	Autoportante tipo maxiplac	15
Asbesto cemento 5 mm tipo Tejalita	9	Teja de barro tipo española nacional, saturada. Nota: en techo de teja deberá añadirse 35 kg/m en líneas de cumbrera y de limatesas	50
Cartón asfáltico de 3 capas	35	Lámina metálica cal.26 con núcleo de poliestireno tipo sándwich de 2" de peraltes	15

CIELOS RASOS			
Conceptos	Peso (kg/m²)	Conceptos	Peso (kg/m²)
Cielo raso de Plywood de 3/16" con estructura de madera	14	Fibrocemento liso 6 mm con perfiles de aluminio	7
Cielo raso de Plywood de 1/4" con estructura de madera	16	Machihembre de 1/2"	7
Fibrocemento liso 4 mm con estructura de madera	18	Yeso con perfiles de aluminio	8
Fibrocemento liso 6 mm con estructura de madera	22	Placa de 1/2" de fibrocemento reforzada con malla de fibra de vidrio	18
Fibrocemento liso 4 mm con perfiles de aluminio	5	Mortero: cemento cal y arena en malla metálica (15 mm)	30

CUBIERTA DE PISOS.			
Conceptos	Peso (kg/m²)	Conceptos	Peso (kg/m²)
Ladrillo de cemento	83	Ladrillo de Cerámica	30
Ladrillo de barro	58	Fibrocemento de 20 mm	22

PAREDES			
Concepto	Peso (Kg/m²)	Conceptos	Peso(Kg/m²)
Planchetas para paredes prefabricadas, área visible, sin viga corona	110	Bloque decorativo de concreto	117
Lámina Troquelada con estructura de perlines	10	Estructura metálica con Durock en una cara y yeso en interiores	23
Esqueleto madera 2" x 3" con Plywood 1/4"	10	Esqueleto madera 2" x 3" con Plycem 6 mm ambas caras	16
Bloque de concreto de 10 x 20 x 40	140	Bloque de concreto de 15 x 20 x 40	200
Bloque de concreto de 20 x 20 x 40	230	Mampostería Reforzada Bloque de concreto de 15 x 20 x 40	260
Mampostería Reforzada Bloque de concreto de 20 x 20 x 40	300	Paneles de doble electromalla de acero con núcleo de poliestireno expandido (2.5 de repello ambas caras)	150
Bloque sólido de arcilla de 5.6 cmx20.3 cmx10.5 cm	172	Bloque sólido de arcilla de 5.2 cmx25.3 cmx13.3 cm	210
Bloque sólido de barro de 5.8 cmx29.8 cmx15.2 cm	255	Piedra Cantera 15x40x60	255
Ventanas de Paletas de vidrio con Estructura de aluminio	20	Ventanas de Vidrio Fijo con Estructura de Aluminio	35

Nota: Para paredes con repello de 1 cm. de espesor, agregar 25 kg/m² por cada cara repellada

MATERIALES ALMACENABLES			
Rocas	(kg/m3)	Rocas	(kg/m3)
Arenisca	2,600	Granito, sienita, diabasa, pórfido	2,800
Arenisca porosa y caliza porosa	2,400	Gneis	3,000
Basalto, diorita	3,000	Mármol	2,700
Calizas compactas y mármoles	2,800	Pizarra	2,800
Maderas	(kg/m3)	Maderas	(kg/m3)
Pochote	530	Cortez	960
Pino Costeño	801	Guayabo	738
Pino Ocote	660	Guayacán	1,240
Genízaro	513	Laurel	565
Cedro Macho	615	Comenegro	950
Cedro Real	481	Guapinol	930
Laurel hembra	561	Níspero	1,010
Almendro	770	Madero Negro	960
Bálsamo	960	Mora	920
Roble	745	Melón	930
Caoba	500	Ñambar	1,100
Materiales Diversos	(kg/m3)	Materiales Diversos	(kg/m3)
Alquitrán	1,200	Papel	1,100
Asfalto	1,300	Plástico en plancha	2,100
Caucho en plancha	1,700	Vidrio plano	2,600
Yeso	1000		
Metales	(kg/m3)	Metales	(kg/m3)
Acero	7,850	Bronce	8,500
Hierro dulce	7,800	Zinc	6,900
Fundición	7,250	Estaño	7,400
Aluminio	2,700	Latón	8,500
Plomo	11,400	Mercurio	13,600
Cobre	8,900	Níquel	9,000
Otros	(kg/m3)	Otros	(kg/m3)
Vidrios	2,500	Losetas	2,400
Concreto asfáltico	2,400	Cartón bituminado	600
Concreto estructural	2,400	Asbesto – cemento	2,500
Mortero	2,200	Leña	600
Tierra	1,800	Parquet	800
Plafón colgado con malla metálica y enyesado	50	Plafón de Metal troquelado	10

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN			
Material	(kg/m3)	Material	(kg/m3)
Arena	1,500	Cemento en sacos	1,600
Arena de Pómez	700	Cemento en polvo	1,200
Cal en polvo	1,000	Grava 1"	1,700
Cal en terrón	1,000	Piedra cantera	1,440
Acero Estructural	7,850	Hormigón armado	2,400

PRODUCTOS AGRÍCOLAS			
Producto	(kg/m ³)	Producto	(kg/m ³)
Avena	450	Harina y salvado	500
Azúcar	750	Maíz	750
Cebada	650	Papas	700
Centeno	800	Pastos secos	400
Frutas	650	Sal	1,000
Trigo, frijoles, arroz	750		

LÍQUIDOS			
Material	(kg/m ³)	Material	(kg/m ³)
Aceite de Creosota	1,100	Agua de mar	1,030
Aceite de Linaza	940	Alcohol étílico	800
Aceite de Ricino	970	Anilina	1,040
Aceite Mineral	930	Bencina	700
Acetona	790	Benzol	900
Ácido clorhídrico al 40%	1,200	Cerveza	1,030
Ácido nítrico al 40%	1,250	Gasolina	750
Ácido sulfúrico al 50%	1,400	Leche	1,030
Ácido Muriático	1,200	Petróleo	800
Agua	1,000	Soda Cáustica	1,700
Sulfuro de carbono	1,290		

Las siguientes combinaciones se aplican para estructuras verticales, en el caso de puentes usar el código AASTHO vigente.

A continuación, la nomenclatura de las cargas para combinaciones de la norma.

CM = Carga permanente, peso propio de estructura y carga adicional a la estructura que es fija o tenga carácter permanente (equipos, acabados, fachadas etc.).

CV = Carga variable definida en [sección 7.1](#)

C_{VT} = Carga variable de techo

C_{CV} = Carga por Ceniza Volcánica (ver mapas de riesgo de INETER)

H = Empuje del suelo, presión lateral del agua o presión de material almacenado.

V = Carga por Viento

Fa = Cargas de Inundación (ver mapas de riesgo de INETER)

F_{ar} = Fuerzas de auto restrictivas.

F = Carga de fluidos contenidos.

E = Carga sísmica

Las estructuras, componentes y cimientos deben diseñarse de manera que su resistencia de diseño iguale o exceda los efectos de las cargas factorizadas en las siguientes combinaciones. Se deben considerar los efectos de una o más cargas que no actúan. Los efectos de la carga sísmica deben ser cargas combinadas de acuerdo con la [sección 7.5.4](#). No es necesario considerar que las cargas de viento y sísmicas actúan simultáneamente. Consulte la [sección 7.8](#) para obtener la definición específica del efecto de carga sísmica E . Cada estado límite de resistencia relevante debe ser evaluado.

1. $1.4CM+H$
2. $1.2CM+1.6CV+0.5C_{VT}+C_{CV}+H$
3. $1.2CM+1.6(C_{VT} \text{ o } C_{CV})+(CV \text{ o } 0.5V) +H$
4. $1.2CM+V+CV+0.5(C_{VT} \text{ o } C_{CV})+H$
5. $0.9CM+V+H$

7.5 Combinaciones de carga para diseño por resistencia LRFD

7.5.1 Combinaciones básicas LRFD

EXCEPCIONES:

1. Se permite usar un factor que multiplique a CV en las combinaciones 3 y 4 sea 0.5 para todos los casos que sea menor que 500 kg/m², con la excepción de garajes o áreas ocupadas como lugares de reunión pública.

Cuando existan cargas verticales de fluido F , se incluirán con el mismo factor de carga que la carga permanente CM . Cuando existan cargas H , se incluirán de la siguiente manera:

Donde el efecto de H se suma al efecto de carga principal, incluya H con un factor de carga de 1.6.

2. Donde el efecto de H resiste el efecto de carga principal, incluya H con un factor de carga de 0.9 donde la carga es permanente o un factor de carga de 0 para todas las demás condiciones. Se investigarán los efectos de una o más cargas que no actúan. Se investigarán los efectos más desfavorables de las cargas de viento, cuando corresponda, pero no es necesario considerar que actúan simultáneamente con cargas sísmicas.

Se investigará cada estado límite de resistencia relevante.

7.5.2
Combinaciones
de carga, incluida
la carga de
inundación LRFD

Cuando una estructura está ubicada en una zona de inundación (al menos catalogada con probabilidad por INETER), se deben considerar las siguientes combinaciones de carga además de las combinaciones básicas en la [sección 7.5.1](#):

1. En $1.0V$ en las combinaciones 4 y 5 se reemplazará por $1.0V + 2.0Fa$

La fuerza F_a deberá de ser estimada por el ingeniero diseñador y documentada de manera clara en la memoria de cálculo.

7.5.3
Combinaciones
de carga,
incluidas las
fuerzas y efectos
de auto
restrictivas LRFD

Cuando se espere que los efectos estructurales de F_{ar} afecten adversamente la seguridad estructural o el desempeño, se considerará F_{ar} en combinación con otras cargas. El factor de carga en F_{ar} se establecerá considerando la incertidumbre asociada con la magnitud probable de las fuerzas y efectos estructurales, la probabilidad de que el efecto máximo de F_{ar} ocurra simultáneamente con otras cargas aplicadas y las consecuencias adversas si el efecto de T es mayor de lo supuesto.

El factor de carga en F_{ar} no debe tener un valor menor a 1.0.

Cuando una estructura está sujeta a efectos de carga sísmica, se deben considerar las siguientes combinaciones de carga además de las combinaciones básicas en la [sección 7.5.1](#). Se investigarán los efectos más desfavorables de las cargas sísmicas, cuando proceda, pero no es necesario considerar que actúan simultáneamente con las cargas de viento.

7.5.4 Combinaciones básicas con efectos de carga sísmica LRFD

Donde el efecto de carga sísmica prescrito, $E = f(E_v, E_h)$ (definido en la [sección 7.8.1](#).) se combina con los efectos de otras cargas, se deben utilizar las siguientes combinaciones de carga sísmica:

$$6. \quad 1.2CM + E_v + E_h + CV + 0.2C_{CV}$$

$$7. \quad 0.9CM - E_v + E_h$$

Donde:

E_v = Carga sísmica componente vertical del sismo

E_h = Carga sísmica componente horizontal del sismo, considerando el efecto bidireccional

Donde el efecto de carga sísmica con sobrerresistencia, $E_m = f(E_v, E_{mh})$, definido en la [sección 7.8.2.1](#), se combina con los efectos de otras cargas, se debe usar la siguiente combinación de carga sísmica para estructuras:

$$8. \quad 1.2CM + E_v + E_{mh} + CV + 0.2C_{CV}$$

$$9. \quad 0.9CM - E_v + E_{mh}$$

Donde:

E_{mh} = Cargas sísmicas con sobre resistencia.

La carga de variable de techo tendrá un valor de 0 en todas las combinaciones con carga lateral.

EXCEPCIÓN:

1. Se permite que el factor de carga en CV en la combinación 6 sea igual a 0.5 para todos los destinos en los que CV es menor o igual a 500 kg/m², con la excepción de Garajes o áreas ocupadas como lugares de reunión pública.

Cuando existan cargas de fluido F , se incluirán con el mismo factor de carga que la carga permanente CM en las combinaciones 6 y 7.

Cuando existan cargas H, se incluirán de la siguiente manera:

1. Cuando el efecto de H se suma al efecto de carga de la variable primaria, incluya H con un factor de carga de 1.6;
2. Cuando el efecto de H resista el efecto de carga variable primaria, incluya H con un factor de carga de 0.9 donde la carga es permanente o un factor de carga de 0 para todas las demás condiciones.

7.6 Combinaciones de carga para un diseño por esfuerzos admisibles ASD

7.6.1 Combinaciones de carga para cargas no especificadas

Las siguientes combinaciones se aplican para estructuras verticales, en el caso de puentes usar el código AASTHO vigente.

Cuando lo apruebe la autoridad competente, el profesional de diseño registrado puede determinar el efecto de carga combinada para el diseño de resistencia utilizando un método que sea consistente con el método en el que se basan los requisitos de combinación de carga en la [sección 7.5.1](#). Dicho método debe basarse en la probabilidad y debe ir acompañado de documentación relacionada con el análisis y la recopilación de datos de respaldo que sean aceptables para la autoridad competente.

7.6.2 Combinaciones básicas ASD

Se considerará que las cargas aquí enumeradas actúan en las siguientes combinaciones; Se considerará lo que produzca el efecto más desfavorable en el edificio, cimiento o miembro estructural. Se deben considerar los efectos de una o más cargas que no actúan. Los efectos de las cargas sísmicas se deben combinar con otras cargas de acuerdo con la [sección 7.6.5](#). No es necesario considerar que las cargas de viento y sísmicas actúan simultáneamente. Consulte la [sección 7.8](#) para conocer la definición específica del efecto de carga sísmica E .

Los aumentos en la tensión permisible no deben usarse con las cargas o en ninguna de las combinaciones de carga dadas en esta norma a menos que se pueda demostrar que tal aumento está justificado por el comportamiento estructural causado por la tasa o duración de la carga.

1. $CM+H$
2. $CM+CV+H$
3. $CM+(C_{VT} \text{ o } C_{CV})+H$
4. $CM+0,75CV+0,75(C_{VT} \text{ o } C_{CV})+H$
5. $CM+(0.6CV)+H$
6. $CM+0.75CV+0.75(0.6V)+0.75(C_{VT} \text{ o } C_{CV})+H$
7. $0.6CM+0.6CV+H$

EXCEPCIONES:

Cuando estén presentes cargas de fluido F , se incluirán en las combinaciones 1 a 6 con el mismo factor que se utilizó para carga permanente CM .

Cuando existan cargas H , se incluirán de la siguiente manera:

1. Donde el efecto de H se suma al efecto de carga principal, incluir H con un factor de carga de 1.0;
2. Donde el efecto de H resiste el efecto de carga principal, incluya H con un factor de carga de 0.6 donde la carga es permanente o un factor de carga de 0 para todas las demás condiciones.

Se considerarán los efectos más desfavorables de las cargas de viento y terremoto, cuando corresponda, pero no es necesario suponer que actúan simultáneamente. Consulte [sección 7.6.5](#), y [sección 7.8](#), para conocer la definición específica del efecto de carga sísmica E .

Los aumentos en la tensión permisible no deben usarse con las cargas o combinaciones de carga dadas en esta norma a menos que se pueda demostrar que tal aumento está justificado por el comportamiento estructural causado por la tasa o duración de la carga.

Cuando una estructura está ubicada en una zona de inundación, se deben considerar las siguientes combinaciones de carga además de las combinaciones básicas en la [sección 7.6.1](#):

1. Se agregará $1.5F_a$ a otras cargas en las combinaciones 5, 6 y 7, y E se establecerá igual a cero en las combinaciones 5 y 6.

7.6.3 Combinaciones de carga, incluida la carga de inundación ASD

7.6.4 Combinaciones de carga, incluidas las fuerzas y efectos de auto restrictivas ASD

Cuando se espere que los efectos estructurales de F_{ar} afecten adversamente la seguridad estructural o el desempeño, se considerará F_{ar} en combinación con otras cargas. Cuando sea improbable que el efecto máximo de la carga F_{ar} ocurra simultáneamente con los efectos máximos de otras cargas variables, se permitirá reducir la magnitud de F_{ar} considerada en combinación con estas otras cargas. La fracción de F_{ar} considerada en combinación con otras cargas no debe ser inferior a 0,75.

7.6.5 Combinaciones básicas con efectos de carga sísmica ASD

Cuando una estructura está sujeta a efectos de carga sísmica, se deben considerar las siguientes combinaciones de carga además de las combinaciones básicas y las excepciones asociadas en la [sección 7.5.1](#).

Donde el efecto de carga sísmica prescrito, $E=f(E_v, E_h)$ (definido en la [Sección 7.8.1](#)) se combina con los efectos de otras cargas, se deben usar las siguientes combinaciones de carga sísmica:

8. $1.0CM+0.7E_v+0.7E_h$
9. $1.0CM+0.525E_v+0.525E_h+0.75CV+0.75C_{CV}$
10. $0.6CM - 0.7E_v+0.7E_h$

Donde el efecto de carga sísmica con sobre resistencia, $E_m=f(E_v, E_{mh})$, definido en la [sección 7.8.2](#), se combina con los efectos de otras cargas, se debe usar la siguiente combinación de carga sísmica para estructuras no sujetas a inundaciones o cargas de ceniza volcánica:

- 8a. $1.0CM+0.7E_v+0.7E_{mh}$
- 9a. $1.0CM+0.525E_v+0.525E_{mh}+0.75CV+0.75C_{CV}$
- 10a. $0.6CM - 0.7E_v+0.7E_{mh}$

Cuando se utilizan metodologías de diseño de tensiones admisibles con el efecto de carga sísmica con sobrerresistencia definido en la [sección 7.8.2](#) y se aplican en combinaciones de carga 8, 9 o 10, se permite determinar las tensiones admisibles utilizando un factor de aumento de tensión admisible de 1.2. Este aumento no debe combinarse con aumentos en las tensiones permitidas o reducciones de combinación de carga permitidas de otro modo por esta norma o el documento de referencia del material, excepto por aumentos causados por factores de ajuste.

La carga de variable de techo tendrá un valor de 0 en todas las combinaciones con carga lateral.

EXCEPCIONES:

1. Se permitirá reemplazar 0.6CM con 0.9 CM en la combinación 10 para el diseño de muros de cortante de mampostería reforzada especial.

Cuando existan cargas de fluido F, se incluirán en las combinaciones 8, 9 y 10 con el mismo factor que el utilizado para la carga permanente CM.

Cuando existan cargas H, se incluirán de la siguiente manera:

1. Donde el efecto de H se suma al efecto de carga de la variable primaria, incluya H con un factor de carga de 1.0.
2. Donde el efecto de H resiste el efecto de carga variable primaria, incluya H con un factor de carga de 0.6 donde la carga es permanente o un factor de carga de 0 para todas las demás condiciones.

Las combinaciones se definieron para hacer compatible los métodos de diseño de los materiales, es decir están en función del tipo de diseño y estructura. En el caso de estructuras no completadas en esta norma como lo son puentes se deberán usar las combinaciones de AASTHO, así como en el caso de tanques concreto o metálicos de agua se deben las combinaciones de ACI-350 o AWWA respectivamente. Es decir, el ingeniero a cargo del diseño deberá considerar que tipo estructura está diseñando y deberá según la metodología de diseño utilizar el correcto juego de combinaciones.

Actualmente se considera varios juegos de combinaciones en el caso de edificaciones, con estos diferentes juegos de combinaciones se trata de cubrir la gran mayoría de casos existentes, queda a juicio del ingeniero estructural adicionar cualquier otra combinación que según el uso y tipo de estructura sea probable que se presente.

COMENTARIOS

7.7 Combinaciones de carga para eventos extraordinarios

Cuando lo requiera el propietario o el código aplicable, se debe verificar la resistencia y la estabilidad para garantizar que las estructuras sean capaces de resistir los efectos de eventos extraordinarios, como incendios, explosiones e impacto vehicular sin un colapso desproporcionado.

7.7.1 Aplicabilidad

7.7.2 Combinaciones de carga para eventos extraordinarios

Para comprobar la capacidad de una estructura o elemento estructural para resistir el efecto de un evento extraordinario, se considerará la siguiente combinación de cargas gravitacionales:

$$(0.9 \text{ o } 1.2)CM + A_k + 0.5CV + 0.2C_{CV}$$

7.7.2.1 Capacidad

en el que A_k = la carga o el efecto de carga resultante del evento extraordinario a ser determinada por el diseñador estructural.

7.7.2.2 Capacidad residual

Para verificar la capacidad de carga residual de una estructura o elemento estructural después de la ocurrencia de un evento dañino, los elementos de carga seleccionados identificados por el profesional de diseño registrado deben ser removidos teóricamente, y la capacidad de la estructura dañada debe ser evaluada usando la siguiente gravedad. combinación de carga:

$$(0.9 \text{ o } 1.2)CM + 0.5CV + 0.2 C_{CV}$$

Se proporcionará estabilidad a la estructura en su conjunto y a cada uno de sus elementos. Se permite cualquier método que considere la influencia de efectos de segundo orden.

7.7.3 Requisitos de estabilidad

La estructura debe incluir completamente sistemas de resistencia a la fuerza lateral y vertical para resistir las fuerzas sísmicas de diseño, especificadas en esta sección, en combinación con otras cargas. Las fuerzas sísmicas se distribuirán a los diversos elementos de la estructura y sus conexiones utilizando un análisis estructural de acuerdo con los procedimientos de la presente norma. Los miembros del sistema resistente a la fuerza sísmica y sus conexiones deben ser detallados para cumplir con los requisitos aplicables para el sistema estructural seleccionado en la [Tabla 5.5.1](#). Se debe tener una trayectoria de carga continua, o trayectorias, con la resistencia adecuada y debe proporcionarse rigidez para transferir todas las fuerzas desde el punto de aplicación hasta el punto final de resistencia. La Fundación de la estructura debe estar diseñada para adaptarse a las fuerzas desarrolladas producto de todas las combinaciones mencionadas en el reglamento.

7.8 Componentes de las cargas sísmicas para el diseño

Todos los miembros de la estructura, incluidos los que no forman parte del sistema de resistencia a la fuerza sísmica, debe diseñarse utilizando los efectos de carga sísmica a menos que esté exento de otra manera por esta norma. Los efectos de la carga sísmica generarán en los elementos esfuerzos axiales, cortantes y de flexión, resultantes de la aplicación de fuerzas sísmicas horizontales y verticales. Dónde sea requerido, los efectos de la carga sísmica incluirán la sobrerresistencia, según lo establecido adelante en la Sección correspondiente.

El efecto de carga sísmica, E, se determinará de acuerdo con lo siguiente:

7.8.1 Efecto de carga sísmica

1. Para usar en la combinación de carga 6 en la [sección 7.5.4](#) o las combinaciones 8, 9, 8a y 9a en la [sección 7.6.5](#), E se determinarán de acuerdo con:

$$E = E_h + E_v \quad (7.8.1)$$

2. Para usar en la combinación de carga 7 en la [sección 7.5.4](#) o carga combinación 10 a 10a en la [sección 7.6.5](#), E se determinará en de acuerdo con:

$$E = E_h - E_v \quad (7.8- 2)$$

Dónde:

E = efecto de carga sísmica;

E_h = efecto de fuerzas sísmicas horizontales como se define en la [sección 7.8.1.1](#), se debe considerar el efecto bidireccional de la siguiente manera 100% en una dirección y 30% en la dirección ortogonal.

E_v = efecto de las fuerzas sísmicas verticales como se define en [sección 7.8.1.2](#)

7.8.1.1 Efecto de carga sísmica horizontal

El efecto de carga sísmica horizontal, E_h , se determinará de acuerdo con Eq. (7.8-3) como sigue:

$$E_h = Q_E \quad (7.8- 3)$$

Donde: Q_E = cortante sísmico basal o efectos de las fuerzas sísmicas horizontales sobre la estructura resultado del análisis sísmico definido en la presente norma.

7.8.1.2 Efecto de carga sísmica vertical

La carga sísmica vertical El efecto de carga, E_v , se determinará de acuerdo con Ec. (7.8-4) como sigue:

$$E_v = 0.2 \cdot a_o \cdot F_{as} \cdot CM \quad (7.8 4)$$

Dónde:

$a_o \cdot F_{as}$ = parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño a corto períodos obtenidos de la Sección correspondiente.

CM = efecto de la carga permanente tal cual está definida en este capítulo.

EXCEPCIÓN

Se permite tomar el efecto de carga sísmica vertical, E_v , como cero para cualquiera de las siguientes condiciones:

1. En las Ecs. (7.8-1), (7.8-2) donde $a_o \cdot F_{as}$ es igual o menor que 0.125.
2. En la Ec. (7.8-4) donde se determinan las demandas en el suelo–interfaz de estructura de cimientos.

Dónde requerido, los efectos de la carga sísmica, incluida la sobre resistencia, serán determinado de acuerdo con lo siguiente:

7.8.2 Efecto de la carga sísmica, incluida la sobre resistencia

1. Para usar en la combinación de carga 6 en la [sección 7.5.4](#) o carga las combinaciones 8 y 9 en la [sección 7.6.5](#), E se tomarán como igual a E_m según se determina de acuerdo con la Ec. (7.8-5) como sigue:

$$E_m = E_{mh} + E_v \quad (7.8- 5)$$

2. Para usar en la combinación de carga 7 en la [sección 7.5.4](#) o carga combinación 10 en la [sección 7.6.5](#), E se tomará como igual a E_m según se determina de acuerdo con:

$$E_m = E_{mh} - E_v \quad (7.8- 6)$$

Dónde:

E_m = efecto de carga sísmica, incluida la sobrerresistencia;

E_{mh} = efecto de fuerzas sísmicas horizontales, incluida la sobrerresistencia (sismo amplificado)

E_v = efecto de carga sísmica vertical como se define en [sección 7.8.1.2](#).

7.8.2.1
Efecto de carga
sísmica
horizontal con
sobrerresistencia

El efecto de las fuerzas sísmicas horizontales, incluyendo sobre fuerza, E_{mh} , se determinará de acuerdo con Eq. (7.8-7) como sigue:

$$E_{mh} = \Omega_0 Q_E \quad (7.8-7)$$

Dónde:

Q_E = cortante sísmico basal o efectos de las fuerzas sísmicas horizontales sobre la estructura resultado del análisis sísmico definido en la presente norma.

Ω_0 = valor de sobrerresistencia tomado de la [Tabla 5.5.1](#)

E_{mh} = no necesita ser tomado mayor que el efecto por capacidad de los elementos.

Se deberá usar la fuerza sísmica con sobrerresistencia en el diseño del sistema lateral cuando se tenga alguna de las siguientes condiciones, piso débil en cualquier nivel o discontinuidad en el sistema lateral en cualquier nivel y en elementos especiales que dicten las normas de diseño para acero y concreto.

Métodos de análisis sísmicos

8

Se debe seleccionar el método de análisis adecuado para determinar la respuesta sísmica de la estructura en términos de: desplazamientos, deformaciones, fuerzas y sollicitaciones sobre los elementos estructurales que se utilizarán para su diseño.

8.1 Generalidades

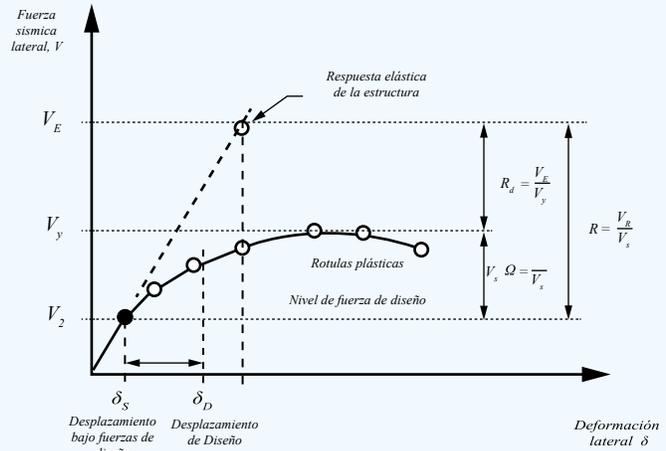
Ciertas estructuraciones, materiales o tecnologías requieren de análisis de distintos grados de complejidad. Típicamente, los análisis se pueden dividir principalmente en lineales elásticos o no lineales. En el caso de análisis lineales elásticos, se estudia la respuesta de la estructura ante demandas estáticas y/o dinámicas considerando solo las propiedades elásticas de los materiales y teoría de pequeñas deformaciones y desplazamientos. Por otro lado, en análisis no-lineales se estudia la respuesta de las estructuras ante demandas estáticas y/o dinámicas considerando el comportamiento debido a efectos de fluencia, fisuración, rotura y fatiga entre otros, así como consideraciones de grandes desplazamientos y/o grandes deformaciones, no-linealidad geométrica, lo cual normalmente requiere algoritmos iterativos y de funciones que representen las leyes constitutivas complejas de los materiales.

En este tipo de análisis se consideran modelos con propiedades lineal elásticas para las secciones y materiales de las componentes de la estructura, la cuales deben ser definidas en base a un conjunto de suposiciones razonables y que sean congruentes a través del análisis. Adicionalmente, en los análisis elásticos y lineales se utiliza un factor de reducción R , el cual se aplica a los esfuerzos obtenidos de estos, para incorporar los efectos de disipación de energía y no-linealidad que experimentará la estructura durante un evento sísmico.

8.2 Lineales

COMENTARIOS

Los métodos de análisis lineales elásticos, consideran una respuesta elástica de la estructura lo cual se deben de ajustar a los valores de modificación de la respuesta R el cual es el cociente de las fuerzas cortantes elásticas entre las de diseño. En la imagen se aprecia el concepto de cada uno de los parámetros de ajustes de la respuesta de la estructura.



Método de la Fuerza Lateral Equivalente (FLE):

8.2.1 Estáticos lineales

Las solicitaciones sísmicas se representan por medio de fuerzas horizontales actuando en cada piso, cuya amplitud se calcula con fórmulas que se ajustan a algunos parámetros de la estructura, tales como corte basal, momento basal, principal modo de vibración de la estructura, etc.

Este método se permite para el análisis de estructuras regulares, de baja altura y con limitaciones de importancia de la estructura. Se requiere la consideración de los efectos de torsión para la excentricidad accidental. Dependiendo de la clasificación estructural definida en la [sección 5](#), varios factores pueden afectar la demanda sísmica, amplificando o reduciéndola por importancia, uso, regularidad y cualquier otro factor relevante.

Para la aplicación de este método, se tomará como base de la estructura el nivel a partir del cual sus desplazamientos con respecto al terreno circundante comienzan hacer significativos.

Puede utilizarse el método estático FLE para el análisis de estructuras regulares, según se define en la [sección 5](#), de altura no mayor a 12 m, y estructuras irregulares de no más de 6 m de altura. Para edificios ubicados en la Zona uno (Z_1), los límites anteriores se amplían a 24m y 12m, respectivamente. El método estático de análisis no podrá usarse para estructuras clasificadas como tipo III y IV, o que tengan irregularidad extrema de acuerdo a la [sección 5](#). Tampoco podrá usarse para establecer aceleraciones de piso en estructuras cuyos sistemas de piso no cumplan las condiciones de diafragma rígido. Además, no se podrá utilizar cuando el suelo es clasificado como tipo E.

8.2.1.1
Limitación del método FLE

El método FLE está limitado en altura porque estructuras altas tiende a tener modos altos y como resultado el método subestimaría el cortante basal y puede no predecir correctamente la distribución vertical de las fuerzas sísmicas. El método FLE puede ser utilizado para todas las zonas sísmicas del país y para estructuras clasificadas como tipo I y II con las limitaciones mencionadas

COMENTARIOS

La fuerza de corte basal V_b , está dada por:

$$V_b = C_s \cdot W \tag{8.2- 1}$$

8.2.1.2
Fuerza de corte basal

Donde:

C_s = Coeficiente sísmico según la [sección 8.2.1.3](#)

W = Peso sísmico efectivo según [sección 9.6](#)

$$C_s = \begin{cases} \frac{\beta A_0}{R_o} & 0 \leq T \leq FS_{T_c} \cdot T_c \\ \frac{\beta A_0}{R_o} \left(\frac{F_s T_c}{T}\right)^p & FS_{T_c} \cdot T_c \leq T \leq T_d \\ \frac{\beta A_0}{R_o} \left(\frac{F_s T_c}{T}\right)^p \left(\frac{T_d}{T}\right)^q & T_d \leq T \end{cases} \tag{8.2-2}$$

8.2.1.3
Coeficiente sísmico C_s

8.2.1.4
Coefficiente
sísmico mínimo

El coeficiente sísmico mínimo será igual a:

$$C_{S_min} = FS_{T_c} \beta \frac{A_0}{2R_0} \tag{8.2-3}$$

COMENTARIOS

El valor de coeficiente mínimo de esta norma está basado en la ecuación 12.8-6 de la norma ASCE7-16, el cual aplica para sitios con fallas sísmicas cercanas, donde el efecto de tipo pulso generado por el fallamiento, puede incrementar la demanda en periodos largos. Para esto se propuso el periodo $T_d=2s$. En esta propuesta se consultó la publicación del paper Adjustment of minimum seismic shear coefficient considering site effects for long-period structures. (insheng Guan, Hongbiao Du, Jie Cui, Qingli Zeng and Haibo Jiang).

8.2.1.5
Período
fundamental
de la
estructura T

El periodo fundamental de la estructura T en la dirección bajo consideración será establecido usando un análisis debidamente justificado que tome en cuenta las propiedades estructurales y características de deformación de los elementos resistentes. El coeficiente sísmico se calculará para el periodo con el menor valor entre T (periodo fundamental) y el producto de C_u por T_a . Como una alternativa al análisis para la determinación del periodo fundamental, se permitirá usar directamente el periodo fundamental aproximado T_a .

Tabla 8.2.1- Coeficiente para el límite superior del período máximo calculado

$F_{as} * a_0$	C_u
≥ 0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

El periodo fundamental aproximado T_a en segundo, puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (8.2 -4)$$

Donde h_n es la altura de la estructura en metros y los coeficientes C_t y x se muestran en la Tabla 8.2-2

8.2.1.6 Período fundamental aproximado T_a

Tabla 8.2.2 - Coeficientes para el cálculo del período aproximado

Tipo de estructura	C_t	x
Marcos resistentes a momentos en los que los marcos resisten el 100% de la fuerza sísmica y que no estén ligados a componentes rígidos que impidan o restrinjan su desplazamiento lateral.		
<ul style="list-style-type: none"> Marcos de acero resistentes a momentos. 	0.0724	0.80
<ul style="list-style-type: none"> Marcos de concreto reforzados resistentes a momentos. 	0.0466	0.90
Marcos de acero arriostrados excéntricamente.	0.0731	0.75
Marcos de acero arriostrados con pandeo restringido.	0.0731	0.75
Todos los demás sistemas estructurales.	0.0488	0.75

Alternativamente para estructuras de 12 pisos, en la cual cada piso tiene una altura de por lo menos 3 metros de altura y cuando el sistema resistente a carga lateral consiste solamente en marcos resistentes a momentos de concreto reforzado o acero estructural, se puede calcular el periodo fundamental aproximado T_a , en segundos, con la siguiente ecuación:

$$T_a = 0.1 \cdot N \quad (8.2 -5)$$

Siendo N el número de pisos de la estructura.

El periodo fundamental aproximado T_a para mampostería o para muros de cortante de concreto reforzado en estructuras de hasta 36 metros de altura, puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$T_a = \frac{0.00058}{\sqrt{C_w}} \cdot h_n \quad (8.2-6)$$

$$C_w = \frac{100}{A_B} \sum_{i=1}^x \frac{A_i}{[1 + 0.83 (\frac{h_n}{D_i})^2]} \quad (8.2-7)$$

Donde:

C_w = Coeficiente para el cálculo de período aproximado de estructuras con muros

A_B = Área de la base de la estructura (m²).

A_i = Área del alma del muro de cortante i (m²).

D_i = Longitud del muro de cortante i (m²).

x = Numero de muros de cortante en el edificio que resisten las fuerzas laterales en la dirección bajo consideración.

8.2.1.7 Distribución vertical de las fuerzas sísmicas

En estructuras bajas, en que el primer modo de vibración es el predominante, comúnmente es usada una ley de triángulo invertido ver [Figura 8.2-1](#) para la distribución del corte basal en los distintos niveles; en casos en que la estructura aumenta en altura, otros modos de vibrar empiezan a ganar importancia y otros tipos de distribución son necesarios

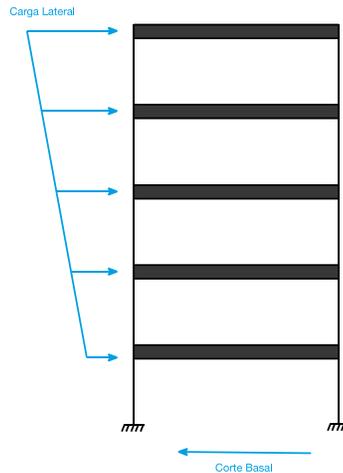


Figura 8.2-1 Distribución triangular de la fuerza vertical

La fuerza sísmica lateral F_x , inducida en cualquier nivel será determinada con la siguiente ecuación:

$$F_x = C_{vx} \cdot V_b \quad (8.2-8)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k} \quad (8.2-9)$$

Donde:

C_{vx} = Coeficiente de distribución vertical de la fuerza cortante.

V_b = fuerza lateral total de diseño o cortante basal de la estructura.

w_i y w_x = porción del peso sísmico efectivo de la estructura W , localizado o asignado al nivel i o x .

h_i y h_x = Altura desde la base al nivel i o x .

k = Exponente relacionado al periodo de la estructura.

$$k=1 \text{ para } T \leq 0.5_s$$

$$k=2 \text{ para } T \geq 2.5_s$$

Para estructuras con periodos entre 0.5 y 2.5 segundos, el valor de k deberá ser interpolado.

El cortante de diseño sísmico en cualquier piso V_x será determinado según la siguiente ecuación

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (8.2-10)$$

F_i es la porción del cortante sísmico basal inducido en el nivel i .

8.2.1.8 Distribución de fuerzas horizontales

8.2.1.9 Efectos bidireccionales

La estructura se analizará bajo los efectos horizontales del movimiento del terreno simultáneos con una combinación absoluta del 100% de los efectos del componente que obran en esa dirección y el 30% de los efectos del que obra perpendicularmente a ella. Con los signos que resulten más desfavorables para cada concepto.

$$E_h = E_x \pm 0.3E_y \quad (8.2 - 11)$$

$$E_h = 0.3E_x \pm E_y \quad (8.2 - 12)$$

8.2.2 Dinámicos lineales

El método DME podrá ser utilizado para todos los tipos de estructuras en todas las zonas sísmicas del país.

8.2.2.1 Método Dinámico Modal Espectral (DME)

En este análisis la respuesta dinámica de una estructura de n grados de libertad acoplados ante cargas sísmicas, es representada por la respuesta de n osciladores de un grado de libertad, caracterizados cada uno de estos por una forma modal y un periodo de vibrar ver [Figura 8.2-2](#).

Para cada uno de estos osciladores se determinan las máximas respuestas modales ante la carga sísmica de acuerdo con un espectro de respuesta, los que posteriormente se combinan para determinar la respuesta dinámica de la estructura. Estas metodologías de combinación generan la pérdida de los signos en los esfuerzos y desplazamientos, por lo que cualquier operación matemática entre éstos (por ejemplo, restar los desplazamientos de entrepiso para obtener la deriva) debe ser realizada modalmente y posteriormente combinado con CQC u otro método, no sobre los valores ya combinados.

Adicionalmente, a este análisis se aplican los factores de reducción (R_o) mencionados en la sección anterior para incorporar los efectos de disipación de energía y no-linealidad que experimentará la estructura durante un evento sísmico y se limita el corte de diseño a un valor mínimo que muchas veces es una fracción del corte obtenido con el análisis estático equivalente.

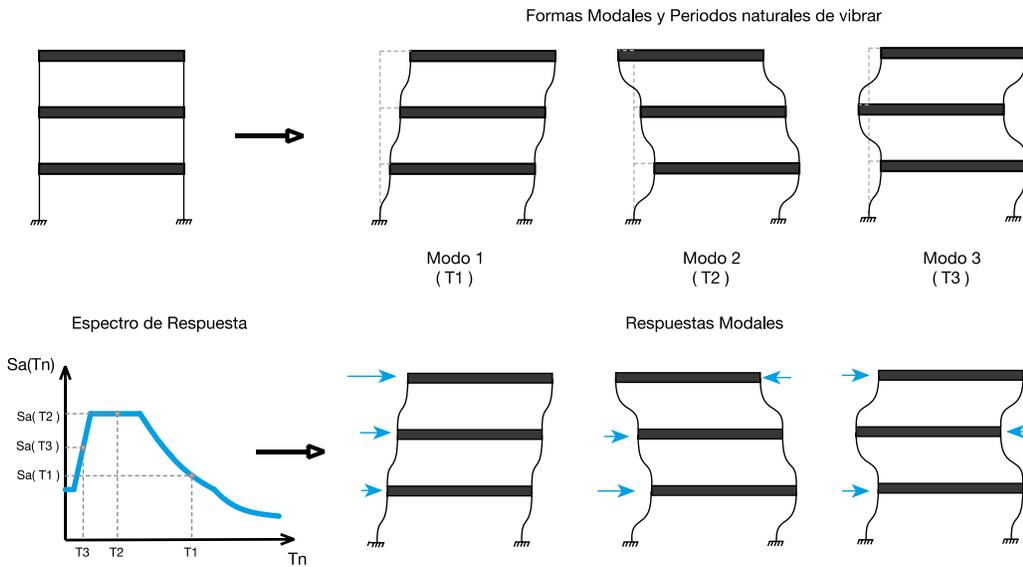


Figura 8.2 2 - Análisis Modal Espectral

Se realizará un análisis para determinar los modos naturales de vibración de la estructura. El análisis incluirá el número suficiente de modos de vibración de manera que se alcance por lo menos la participación modal del 90% de la masa sísmica en cada dirección horizontal ortogonal.

8.2.2.2
Número de modos

El valor de cada parámetro de diseño de interés, incluyendo derivas de piso, reacciones en apoyos y fuerzas en elementos individuales para cada modo de respuesta, serán calculados usando las propiedades de cada modo y el espectro de diseño definido en la [sección 6](#) dividido por la cantidad R_o/I . El valor de los desplazamientos y de las derivas deberá ser multiplicado por c_a/I .

8.2.2.3
Parámetros de respuesta modal

8.2.2.4 Efectos bidireccionales

Para el análisis modal espectral, la estructura se analizará bajo los efectos horizontales del movimiento del terreno simultáneos con una combinación por el método de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados (SRSS).

$$E_h = \sqrt{\sum E_{x,y}^2} \quad (8.2-13)$$

8.2.2.5 Parámetros de respuesta combinada

El valor de cada parámetro de diseño interés calculado para los distintos modos deberá ser combinado utilizando el método de combinación cuadrática completa. (CQC).

8.2.2.6 Valores del cortante basal modal y cortante estático

Deberá calcularse un cortante basal modal V_t mediante las combinaciones modales en cada una de las direcciones horizontales ortogonales. También deberá calcularse un cortante basal estático V_b en cada una de las direcciones horizontales ortogonales usando el periodo fundamental T y los procedimientos descritos en el método de la fuerza lateral equivalente de la [sección 8.2.1](#).

8.2.2.7 Escalado de fuerzas

Cuando el periodo fundamental excede $C_u T_a$ en una dirección dada, deberá utilizarse $C_u T_a$ en lugar de T en tal dirección.

Cuando la respuesta combinada para el cortante basal modal V_t resulte menor que el 100% del cortante basal V_b calculado con la ecuación (8.2-1) de la [sección 8.2.1.2](#), debe realizarse una corrección incrementando las fuerzas mediante el siguiente factor de escala:

$$\text{Factor de escala} = \frac{V_b}{V_t} \quad (8.2-14)$$

8.2.2.8 Escalado de derivas

Para el caso de las derivas, los desplazamientos del análisis modal espectral deberán ser los que resulten de las fuerzas incrementadas por el factor de escala de la ecuación (8.2-14).

Generalidades de los métodos de Análisis Inelástico

8.3 No lineales

Los métodos no lineales podrán ser utilizados para todos los tipos de estructuras y zonas sísmicas del país. En estos métodos el comportamiento inelástico de los materiales se incorpora en el modelado de los elementos que conforman la estructura. Los resultados del análisis permiten la identificación de zonas críticas y mecanismos de falla, así como la determinación de las demandas locales y globales de ductilidad. Para su aplicación se debe considerar lo siguiente:

Se definen dos variantes del método; El Método de Análisis Estático Inelástico y el Método de Análisis Dinámico Inelástico de Respuesta en el Tiempo.

Para la aplicación de estos métodos se podrá seguir lo estipulado en el ASCE 41 en lo referente al análisis estático y lo estipulado en el ASCE-7 en lo referente al análisis dinámico.

Método de Análisis Estático no lineal

8.3.1 Estáticos no lineal

Es un análisis estático no-lineal donde los efectos inelásticos se incorporan explícitamente en el modelo estructural y la acción sísmica se define por el espectro de respuesta elástica.

El análisis estático inelástico es una forma limitada de representar el comportamiento sísmico, este tipo de análisis no considera los efectos dinámicos como las fuerzas inerciales ni el efecto del amortiguamiento. Por ello, se debe tener cuidado cuando se pretenda utilizar este método de análisis para garantizar el cumplimiento de los objetivos de desempeño establecidos en esta norma.

COMENTARIOS

Cuando se realiza un análisis estático inelástico, no se debe hacer uso de los coeficientes R_o , C_d y Ω_o considerados en los procedimientos lineales, porque el análisis inelástico incluye directamente los efectos representados por estos coeficientes.

El modelo matemático deberá satisfacer lo siguiente:

- a. El análisis y las verificaciones de seguridad de la estructura se realizan con un modelo que no incluya las paredes de relleno.

8.3.1.1 Modelo matemático para análisis no lineal

- b) En el caso de que las paredes de relleno puedan causar alguna de las irregularidades descritas en esta norma, se deberá considerar un segundo modelo que incluya las paredes de relleno con sus propiedades no lineales. Se deben considerar las incertidumbres en la distribución y propiedades de las paredes.
- c) Se debe verificar que los elementos estructurales tengan la capacidad y la deformabilidad suficiente para soportar los efectos desfavorables que introducen las paredes.
- d) El modelado de la estructura debe considerar la no-linealidad de los materiales y su respuesta histórica en lugar de hacer reducción de inercias.
- e) Las relaciones inelásticas tensión-deformación de los materiales y fuerza-deformación en los elementos estructurales deben ser explícitamente incluidas en el modelo, incluyendo posibles degradaciones de resistencia y rigidez. Las deformaciones plásticas admitidas en los materiales y elementos estructurales deben ser sustentadas por documentos técnicos o por ensayos de laboratorio debidamente documentados.

8.3.1.2 Análisis del método estático no lineal

El análisis deberá cumplir con lo siguiente:

- a) La curva de capacidad de la estructura que relaciona la fuerza cortante en la base con el desplazamiento en el centro de masas del último nivel, será determinada mediante la aplicación estática en los centros de masas de cargas laterales crecientes que empujan la estructura progresivamente hasta alcanzar el desplazamiento último. Previamente se debe aplicar las cargas gravitatorias sobre el edificio. Se harán los análisis considerando las cargas laterales aplicadas en cada sentido y en cada dirección, de donde se seleccionarán los efectos más desfavorables. Para definir el último nivel no se tomarán en cuenta los apéndices que puedan estar presentes.
- b) Para estructuras irregulares en planta, se usará un modelo espacial (3D) en el análisis. Para estructuras regulares en planta se pueden analizar los planos resistentes en cada dirección por separado.

- c) Las cargas laterales se deben distribuir verticalmente sobre la estructura de manera de ajustarse a la distribución vertical de las fuerzas cortantes calculadas mediante un análisis dinámico elástico. Alternativamente se podrá usar una distribución de fuerzas proporcionales a las fuerzas del primer modo de vibración.
- d) La curva de capacidad obtenida del análisis estático no lineal se sustituye por una curva idealizada multilínea de donde se obtiene el período efectivo y la fuerza cedente efectiva de la estructura a ser utilizadas en la determinación de la demanda sísmica de desplazamientos.
- e) La demanda de desplazamiento en el centro de masas del último nivel de la estructura inducido por la acción sísmica debe ser determinado considerando las características dinámicas e inelásticas del sistema estructural. La demanda sísmica se determina para el espectro de respuesta elástico definido en esta norma, asociado al tipo de sismo que corresponda.
- f) Los efectos torsionales se añadirán según se especifica en la [sección 9.8](#).
- g) Los efectos P-Delta se incluirán en el análisis según se especifica en la [sección 9.5](#)

Las verificaciones y los criterios de aceptación son los siguientes:

- i. La demanda de desplazamiento se debe comparar con la capacidad de desplazamiento definida por la curva de capacidad de la estructura, para los efectos de determinar el cumplimiento con el nivel de desempeño deseado.
- ii. La demanda de deformación plástica en los elementos estructurales, así como otros parámetros indicadores de daño estructural deben estar por debajo de los valores admisibles de acuerdo al nivel de desempeño deseado. La demanda de fuerzas en los componentes frágiles debe estar por debajo de las capacidades tolerables.
- iii. Las distorsiones de cada entrepiso deberán satisfacer los requerimientos de distorsión máxima indicados en la [Tabla 5.5.1](#).
- iv. Se deberá verificar que el coeficiente de estabilidad asociado a los efectos P-Delta cumple con los valores admisibles dados en la [sección 9.5](#).

**8.3.1.3
Verificaciones
y Criterios
de Aceptación**

8.3.2 Dinámicos no lineal

Método de Análisis Dinámico Inelástico de Respuesta en el Tiempo

Es un análisis dinámico no-lineal en donde los efectos inelásticos se incorporan explícitamente en el modelo estructural y la acción sísmica se define por medio de acelerogramas compatibles con el espectro de respuesta elástica del sitio. El análisis se efectuará según se describe en el documento ASCE 7 complementado con lo indicado a continuación.

COMENTARIOS

El análisis dinámico de respuesta en el tiempo, es una forma de análisis en la que la respuesta de la estructura sometida a un conjunto de movimientos del suelo se evalúa a través de la integración numérica de la ecuación de movimiento para cada instante del tiempo. Cuando, además, este análisis es inelástico, la matriz de rigidez de la estructura se modifica a lo largo del análisis para tener en cuenta los cambios en la rigidez del elemento asociados con el comportamiento histerético y los efectos P-delta.

Cuando se realiza un análisis inelástico de respuesta en el tiempo, no se debe hacer uso de los coeficientes R_o , C_d y Ω_o considerados en los procedimientos lineales, porque el análisis inelástico incluye directamente los efectos representados por estos coeficientes.

El análisis inelástico de respuesta en el tiempo puede ser utilizado como parte del diseño de cualquier estructura y es particularmente requerido su uso para el diseño de estructuras que incorporen sistemas de aislamiento sísmico o de disipación de energía. El análisis inelástico de respuesta en el tiempo, también es utilizado para el diseño de estructuras que utilizan sistemas estructurales alternativos o que no cumplen plenamente con los requisitos prescriptivos de esta la norma. En esta sección, para el análisis, se hace referencia específicamente a la edición de ASCE 7 del 2016, en la cual se llevó a cabo una reformulación completa de estos requisitos para requerir un análisis en el nivel de sismo máximo Considerado (MCER) dirigido al riesgo y también para ser más consistente con los objetivos de desempeño indicados en la [sección 5.6.](#)

El procedimiento está previsto de tal manera que, cuando un edificio se somete al movimiento del suelo MCER, se garantiza la seguridad al colapso con una probabilidad de excedencia del 10% para las estructuras de las categorías de riesgo I y II. Para las estructuras de categoría de riesgo III y IV, estas probabilidades de excedencia para la seguridad al colapso se reducen al 5% y al 2%, respectivamente.

Existen expectativas de desempeño adicionales para las estructuras de categoría de riesgo III y IV que van más allá de los objetivos de desempeño de seguridad de vida o de seguridad contra el colapso (por ejemplo, limitar los daños y el permitir la operación inmediata después del sismo). Estos objetivos de desempeño mejorado pueden ser considerados en el diseño.

COMENTARIOS

El uso del análisis inelástico de respuesta en el tiempo, es usado para comprobar el desempeño requerido a través de un conjunto prescrito de normas de análisis y criterios de aceptación. Aun así, este enfoque implícito no excluye el uso de procedimientos más avanzados que demuestren explícitamente que un diseño cumple con los objetivos de seguridad contra el colapso. Tales procedimientos más avanzados están permitidos por esta norma. Un ejemplo de un procedimiento explícito avanzado es la metodología de evaluación del colapso específico del edificio en el Apéndice F de FEMA P-695 (FEMA 2009b).

Se recomienda que el diseño de estructuras que utilizan un análisis inelástico de respuesta en el tiempo sea revisado por un profesional diferente al diseñador, con licencia y con posgrado en estructuras.

El modelo matemático de la estructura se hará según lo especificado en la [sección 9.3.1.1](#), para el método de análisis estático inelástico.

8.3.2.1
Modelo
matemático

Se usarán un número no menor de 11 movimientos sísmicos. Los acelerogramas se determinarán y escalarán según se indica en la sección [13.5.2](#) aplicados en conjunto con las especificaciones de las acciones sísmicas definidas en los capítulos 6 y 7 de esta norma.

8.3.2.2
Movimientos
Sísmicos

Los criterios de aceptación deben satisfacer lo indicado en la sección [5.6.3](#) Las derivas de cada entrepiso no deben exceder los valores límites indicados en la [sección 10](#).

8.3.2.3
Criterios
de aceptación

8.4 Interacción Suelo - Estructura

El análisis de interacción suelo-estructura debe considerar lo siguiente:

a) La interacción suelo-estructura puede ser incorporada opcionalmente en el análisis estructural teniendo como referencia de carácter general las especificaciones indicadas en el documento ASCE 7, en conjunto con los requisitos de investigación geotécnica indicados en la [sección 13](#) y las especificaciones de las acciones sísmicas definidas en los capítulos 6 y 7 de esta norma.

b) Los requerimientos se pueden aplicar en aquellos casos donde el modelo matemático usado en el análisis y diseño de la estructura es un modelo de base rígida. Los requerimientos no se deben aplicar si en el análisis estructural se incorporan grados de libertad adicionales que incluyen la flexibilidad del sistema de fundación y del suelo.

8.5 Requerimientos para estructuras con aislamiento sísmico

Las estructuras con aisladores sísmicos se diseñarán para desempeño operacional, ante un sismo extremo II con período de retorno medio de 2,475 años, independientemente de su importancia. Se debe garantizar una respuesta cuasi elástica de la estructura aislada, sin falla del sistema de aislamiento, debiendo cumplir con lo siguiente:

- a) Los requerimientos para el análisis y diseño de estructuras que posean sistemas de aislamiento sísmico seguirán los procedimientos, lineamientos, medidas de control y verificaciones indicados en el documento ASCE 7, en conjunto con las especificaciones de las acciones sísmicas definidas en los capítulos 6 y 7 de esta norma y lo indicado en esta sección. Independientemente de su uso y ocupación, estas estructuras se diseñarán como de grupo de importancia correspondiente a estructuras de ocupación normal.
- b) El sistema de aislamiento será verificado con el Sismo Extremo II, así como la estructura aislada sujeta a los efectos que se transmitan sobre ella.
- c) Se diferenciará el análisis y las verificaciones de las subestructuras por debajo y por encima del nivel de aislamiento.
- d) El Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCER) del ASCE 7 será el Sismo Extremo II, con el cual se derivarán los espectros asociados y los acelerogramas necesarios. El Design Response Spectrum del ASCE 7 será el Espectro de Respuesta Elástica dado en el capítulo 6 para el Sismo de Diseño, pero no se escalará para definir el espectro del sismo extremo.

- e) Cuando se trate de construcciones regulares, de no más de 4 pisos, no situadas en clases de sitio D o E, con periodo de la estructura aislada menor de 5 s y amortiguamiento efectivo para el máximo desplazamiento menor de 30%, se permite el uso del método de análisis dinámico espectral. En otros casos debe emplearse un análisis dinámico elástico de respuesta en el tiempo, siempre que se verifique que la estructura permanece esencialmente elástica; en caso contrario debe utilizarse el análisis dinámico inelástico de respuesta en el tiempo (ver [sección 8.3.2](#)).
- f) Los efectos de la componente vertical del sismo serán considerados de acuerdo a lo estipulado en el ASCE 7.

El aislamiento sísmico, conocido como aislamiento de base debido a su uso común en la base de las estructuras, es un método de diseño utilizado para desacoplar sustancialmente la respuesta de los componentes de la estructura de los efectos dañinos del movimiento sísmico. Este desacoplamiento da lugar a una reducción considerable de la respuesta de la estructura si se compara con la que tendría al disponer del sistema convencional de base empotrada.

En las últimas décadas se ha dado un rápido crecimiento de la tecnología de aislamiento sísmico y lo que ha permitido el desarrollo de directrices específicas para el diseño y la construcción de edificios y puentes aislados sísmicamente, así como procedimientos de prueba estandarizados de dispositivos de aislamiento. El capítulo 17 del ASCE 7 dispone de métodos de análisis y requisitos de diseño para el dimensionamiento de los dispositivos de aislamiento de base, es por ello que esta norma permite el uso de dicho procedimiento para el caso de estructuras nuevas. Cuando se trate de la rehabilitación de estructuras existentes, se recomienda el uso del ASCE 41. Para el caso de aislamiento de puentes, se recomienda el uso de la Guía de especificaciones de las disposiciones de AASHTO.

Se recomienda que el diseño de estructuras que incorporan sistemas de aislamiento sísmico sea revisado por un profesional diferente al diseñador, con licencia y con posgrado en estructuras. Sin embargo, para los proyectos que impliquen estructuras esenciales, se recomienda sean revisadas por un comité compuesto por tres profesionales, distintos al diseñador, con licencia y todos con posgrado en estructuras.

COMENTARIOS

8.6 Requerimientos para estructuras con disipadores de energía

Las estructuras con disipadores de energía se diseñarán para el nivel de desempeño definido en el proyecto con los sismos correspondientes. Los disipadores utilizados se verificarán para un sismo extremo con período medio de retorno de 2,475 años.

- a) En el caso de que los disipadores de energía atraviesen la interfaz de aislamiento sísmico de una estructura sísmicamente aislada, ésta se diseñará de acuerdo con los requerimientos para estructuras con aislamiento sísmico (ver [sección 8.5](#)).
- b) Los requerimientos para el análisis y diseño de estructuras que posean disipadores de energía seguirán los procedimientos y lineamientos, medidas de control y verificaciones indicados en el ASCE 7, en conjunto con las especificaciones de las acciones sísmicas definidas en los capítulos 6 y 7 de esta norma y lo indicado en esta sección. Se diseñarán para su grupo de importancia, con los factores de importancia correspondientes.
- c) Serán verificadas para satisfacer el nivel de prevención del colapso con el sismo extremo II. Los disipadores de energía no hysterético deberán permanecer en rango elástico.
- d) El Risk-Targeted Maximum Considered Earthquake (MCER) del ASCE 7 será el Sismo Extremo II, con el cual se derivarán los espectros asociados y los acelerogramas necesarios. El Design Response Spectrum del ASCE 7 será el Espectro de Respuesta Elástica dado en el capítulo 6 para el Sismo de Diseño, pero no se escalará para definir el espectro del sismo extremo.

- e) Cuando se trate de estructuras con al menos dos dispositivos de amortiguamiento en cada dirección y cada piso diseñados para resistir torsión, con amortiguamiento efectivo del modo fundamental en cada dirección menor de 35% y situadas en un lugar tal que el parámetro sísmico a_0 sea menor que 0.2g, se permite el uso del método de análisis dinámico espectral, en otros casos se debe emplear el método de análisis dinámico inelástico de respuesta en el tiempo (ver [sección 8.3.2](#)).
- f) En el diseño de la estructura se tomará en cuenta el efecto de la respuesta del subsistema de disipación de energía.
- g) Los efectos de la componente vertical del sismo serán considerados de acuerdo a lo estipulado en la [sección 6.8](#).

COMENTARIOS

Los requisitos de este capítulo aplican a dos tipos de sistemas de disipadores de energía; a) los dispositivos de disipación dependientes del desplazamiento como los sistemas histéricos o de fricción y b) los dispositivos de disipación dependientes de la velocidad como los sistemas viscosos o viscoelásticos. El cumplimiento de estos requisitos está destinado a obtener un rendimiento comparable al de una estructura con sistema convencional de resistencia a la fuerza sísmica, pero también pueden ser utilizados para lograr un mayor rendimiento. El sistema de disipación de energía (DS) se define por separado del sistema de resistencia a la fuerza sísmica (SFRS), aunque los dos sistemas pueden tener elementos comunes, el DS puede ser externo o interno a la estructura y puede no tener elementos compartidos, algunos elementos compartidos o todos los elementos en común con el SFRS. Los elementos comunes al DS y al SFRS deben diseñarse para una combinación de los dos sistemas de carga. Cuando el DS y el SFRS no tienen elementos comunes, las fuerzas de los disipadores deben transferirse a los miembros del SFRS. El capítulo 18 del ASCE 7 dispone de métodos de análisis y requisitos de diseño para el dimensionamiento de los dispositivos de disipación de energía, es por ello que esta norma permite el uso de dicho procedimiento.

Se recomienda que el diseño de las estructuras que incorporan disipación de energía suplementaria sea revisado por un profesional diferente al diseñador, con licencia y con posgrado en estructuras. Sin embargo, para los proyectos que impliquen estructuras esenciales, se recomienda sean revisadas por un comité compuesto por tres profesionales, distintos al diseñador, con licencia y todos con posgrado en estructuras.

9 Criterios de modelado estructural

9.1 General

En esta sección se especifican los requisitos mínimos para modelar estructuras en base a las siguientes recomendaciones:

- a. Será necesario emplear modelos tridimensionales que tomen en cuenta al menos tres grados de libertad por planta, incluyendo los movimientos de traslación en dos direcciones horizontales ortogonales y la rotación con respecto a un eje vertical.
- b. El modelo estructural deberá representar apropiadamente la distribución de masas y rigideces a fin de permitir un cálculo confiable de la respuesta sísmica de la edificación.
- c. Para el caso de los métodos no lineales establecidos en la [sección 8.3](#), el modelo también debe representar adecuadamente la resistencia, la capacidad de deformación y el comportamiento histerético no lineal de los elementos.
- d. Se deberá considerar la presencia de componentes no estructurales, tales como paneles de división y de cerramiento, muros de mampostería divisorios, elementos de fachada, parapetos y otros, que puedan incidir en el desempeño sísmico de la edificación.
- e. El modelo matemático de la estructura tendrá el fin de determinar la respuesta de la estructura en términos de fuerza y desplazamiento que resulten bajo las cargas aplicadas, desplazamiento impuestos o efectos P-Delta satisfaciendo las ecuaciones de equilibrio de la estructura deformada. Además, el modelo deberá cumplir con lo siguiente:
 - i. Para elementos de concreto y mampostería las propiedades de rigidez deben considerar los efectos de sección agrietadas para determinar los desplazamientos, derivas y distorsiones de piso sera necesario agrietar las secciones.
 - ii. Para sistemas de marcos de momento de acero, se incluirá la contribución de las deformaciones de la zona del panel a la deriva general del piso.
- f. Para los fines del análisis estructural se definirá el nivel de base como el nivel superior que se mueve conjuntamente con el terreno en todas sus direcciones. En el caso de la existencia de niveles por debajo del nivel del terreno (sótanos), se admite definir el nivel de base por debajo de la superficie del terreno si se incorpora en el modelo la flexibilidad lateral de los muros y del suelo.

- g. Las paredes de mampostería en la mayoría de edificaciones se dimensionan para requisitos mínimos de pandeo fuera del plano y/o para tomar fuerzas cortantes en su plano ya sean estas confinadas o reforzadas. Cuando el sistema de paredes es aislado de los elementos resistentes principales, estos únicamente deberán de dimensionarse por estabilidad local y demandas propias de sus propiedades. Desde el punto de vista del modelo global, los muros podrán modelarse con elementos finitos de 4 nodos tipo membrana si se considera únicamente rigidez en el plano o elementos tipo cascaron con rigidez adicional fuera del plano si se evaluara dicho comportamiento.

Los elementos confinantes se modelarán como elementos tipo barra localizados en el centroide de los mismos con las propiedades mecánicas del concreto definido.

En el caso de Muros Diafragmas con holguras entre el panel de mampostería y los marcos estructurales, los muros deberán independizarse de los elementos resistentes asegurando que el modelo incluya el peso de estos.

Aceptabilidad de los análisis por elemento finitos.

El diseñador estructural autorizado debe asegurar un modelo de análisis apropiado para el problema de particular interés. Lo cual incluye selección del programa automatizado, tipo de elemento, enmallado de los elementos y otras consideraciones del modelo. El tamaño del enmallado debe ser capaz de capturar la respuesta estructural con suficiente detalle y precisión.

Se entiende por diafragma cualquier sistema de techo o entrepiso generalmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano para que sea capaz de transmitir fuerzas laterales ya sea de sismo o viento a los elementos verticales que forman el sistema resistente a dichas cargas.

9.2 Tipos de diafragmas

El diafragma y los elementos que lo conectan al sistema resistente a carga lateral deben estar en capacidad de transmitir las fuerzas horizontales en las dos direcciones ortogonales más la torsión en dicho nivel, provenientes de la aplicación de los métodos de análisis de la [sección 8](#).

9.2.1 Diafragma flexible

Es aquel diafragma que solo tiene la capacidad de transmitir las fuerzas de corte directo tangenciales al plano del diafragma.

Como ejemplo de diafragma flexible se puede considerar: los sistemas de pisos de madera y techos con forro inferior de madera que estén debidamente unidos en toda su longitud a los elementos verticales resistentes a las cargas verticales.

Para clasificar que un diafragma sea flexible se deberá cumplir con la [sección 9.3.](#)

Los diafragmas flexibles deberán ser modelados con un número suficiente de grados de libertad en su plano que describa apropiadamente los movimientos relativos entre sus partes, las distorsiones en su plano y la transmisión de fuerzas inerciales al sistema resistente a cargas laterales.

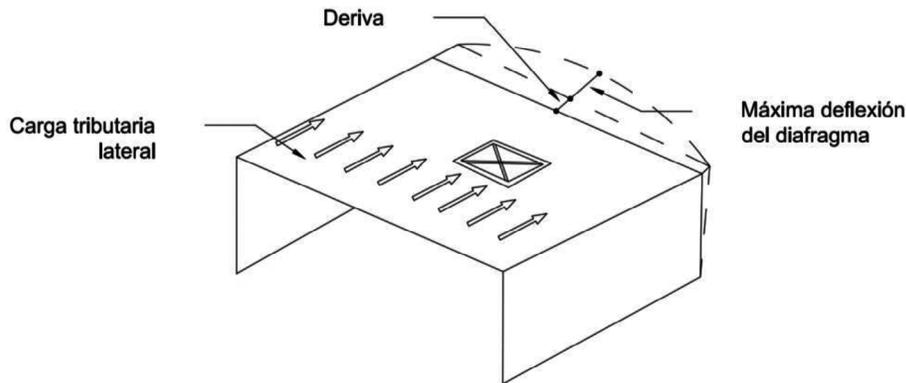
9.2.2 Diafragma rígido

Es un diafragma que tiene suficiente rigidez para poder transmitir de manera uniforme los desplazamientos en todos los puntos que la componen. Se deberá modelar para que en su plano describa dos grados de libertad traslacionales y ortogonales y un grado de libertad alrededor de un eje normal de dicho plano que describa su rotación.

Como ejemplos de diafragmas rígidos tenemos: losas de concreto reforzado con espesores no menores a 5 cm, losas compuestas metal deck llenas de concreto, losas aligeradas, losas nervadas etc. Además, que tengan una relación largo ancho menor o igual que 3 y que no tengan ningún tipo de irregularidad en planta.

Para clasificar que un diafragma sea rígido se deberá cumplir con la [sección 9.3.](#)

9.3 Flexibilidad del diafragma



Diafragma flexible si, $\frac{\delta_{MDD}}{\Delta_{ADVE}} > 2$

Diafragma Rígido si, $\frac{\delta_{MDD}}{\Delta_{ADVE}} \leq 2$

Donde:

δ_{MDD} = máxima deflexión del diafragma

Δ_{ADVE} = promedio de la deriva de piso a diafragma

Los diafragmas con aberturas, entrantes y salientes requieren elementos secundarios de refuerzo arriba y debajo de las aberturas en la dirección del diafragma secundario. Refuerzos adicionales de las cuerdas se deben extender más allá de las esquinas considerando inclusive continuidad cuando el peralte de los diafragmas no es constante.

9.4 Diafragmas con aberturas, entrantes y saliente

Para el diseño de los diafragmas y el refuerzo necesario en las aberturas de dichos diafragmas se deberá seguir la guía de diseño de diafragmas de concreto reforzado. CRSI (Concrete Reinforcing Steel Institute 2019 – A guide to assist design professionals in efficiently designing and detailing reinforced concrete diaphragms.)

COMENTARIOS

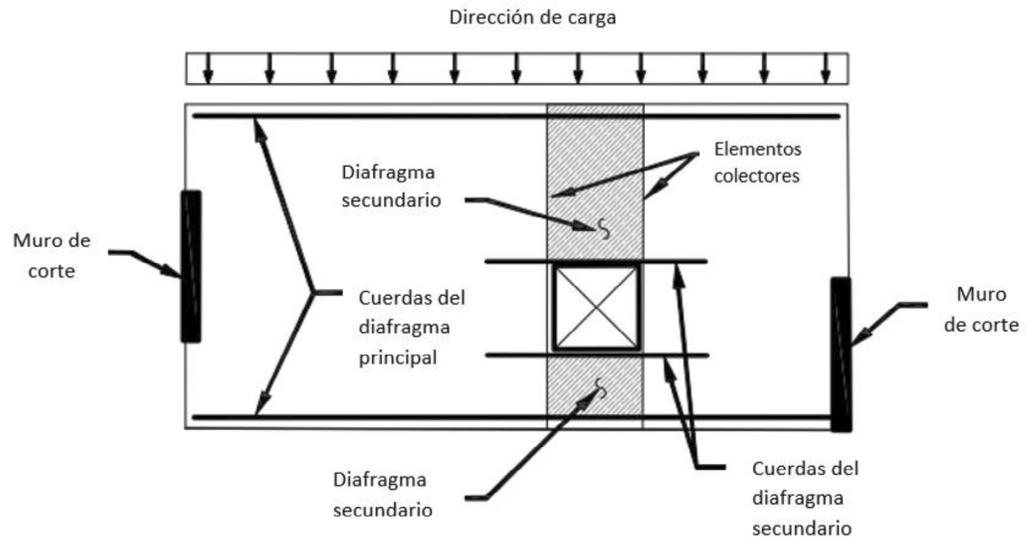
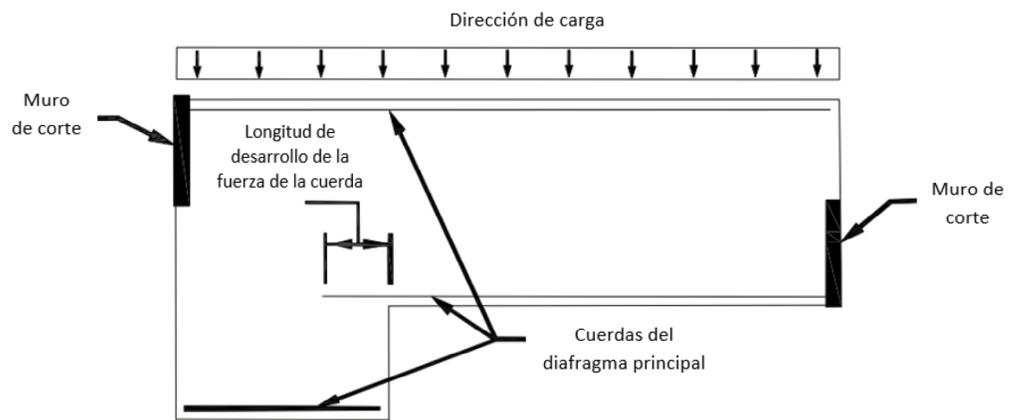


Figura 9.4-1 -Esquema de cuerdas y elementos colectores para diafragmas



Debe tenerse en cuenta explícitamente en el análisis los efectos geométricos de segundo orden (P-Δ), debido a las cargas verticales al obrar en estructura desplazada lateralmente ya que producen un incremento en las fuerzas internas, momentos, fuerzas axiales, cortantes y derivas de piso.

9.5 Efectos P-Δ

Los efectos P- Δ se deberán tomar en cuenta en las dos direcciones principales de la estructura para determinar el factor de incremento y la evaluación de la estabilidad global de la estructura.

No se considerará en el análisis cuando el coeficiente de estabilidad (θ) determinado por la siguiente expresión sea igual o menor que 0.1

$$\theta = \frac{P_i \Delta_i I}{V_i h_i C_d} \quad (9.5-1)$$

Donde:

P_i = Suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i

Δ_i = deriva del piso i calculada según la [sección 10.2](#).

I = Factor de importancia de la [sección 5.2](#).

V_i = Cortante sísmico del piso i

h_i = Altura del piso i

C_d = Coeficiente de deflexión según [sección 5.5](#)

El coeficiente de estabilidad no debe ser mayor que:

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta_{pd} * C_d} \leq 0.25 \quad (9.5-2)$$

Siendo β_{pd} la relación entre la demanda y la capacidad a cortante para el piso entre los niveles i y $i - 1$. Conservadoramente esta relación puede tomarse igual a 1.

Cuando el coeficiente de estabilidad es mayor que 0.10 y menor o igual que θ_{max} , el incremento relacionado a los efectos P- Δ sobre los desplazamientos y fuerzas será determinado por un análisis racional. Alternativamente, se permite multiplicar los desplazamientos y fuerzas por $\frac{1}{(1-\theta)}$.

Cuando θ es mayor que θ_{max} , la estructura es potencialmente inestable y debe ser rediseñada.

Cuando los efectos de P- Δ son incluidos en un análisis automático, la ecuación [\(9.5-2\)](#).

Debe ser satisfecha, sin embargo, cuando se usan los resultados del análisis P- Δ , el valor de θ calculado según ecuación [\(9.5-1\)](#).

Puede dividirse por $(1 - \theta)$ antes de ser comparada con θ_{max} .

Para la implementación del análisis P- Δ mediante un análisis racional automático, la combinación de carga vertical a usarse será de 1.2CM+CV y la carga lateral en consideración.

Se recomienda que la discretización de los elementos estructurales sean lo suficiente para capturar mejor la deformación de segundo orden provocada por la curvatura de los elementos.

9.6 Peso sísmico efectivo

El peso sísmico efectivo de la estructura (W) será el que resulte de la superposición de las cargas permanentes más una fracción de las cargas variables que contribuyan a la respuesta sísmica de la estructura.

Independientemente del método de análisis que se use, el peso sísmico efectivo a utilizarse será:

a) Caso general

$$W = CM + 0.15 * CV$$

b) Casos especiales: Bodegas, parqueos y almacenaje

$$W = CM + 0.3 * CV$$

Donde:

CM: Carga muerta total de la estructura, incluye su peso propio de los elementos estructurales y no estructurales, así como los equipos que estén fijos o bien adheridos a la estructura de tal manera que influyan en su respuesta sísmica.

CV: Carga variable según la [Tabla 7.1.1](#) que está en función del uso y destino de la edificación.

Para estructuras con categoría de diseño sísmico C y D y cuando existan irregularidades torsionales en planta (Tipo 1), los efectos deben ser considerados incrementando la torsión accidental en cada nivel mediante un factor de amplificación A_x , calculado con la siguiente expresión:

9.7 Amplificación por momento torsional accidental

$$1.0 \leq A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{prom}} \right)^2 \leq 3.0 \quad (9.7-1)$$

Donde:

A_x = Factor de amplificación torsional

δ_{prom} = Promedio de desplazamientos de los puntos extremos de la estructura en el nivel i .

δ_{max} = Valor del desplazamiento máximo en el nivel i .

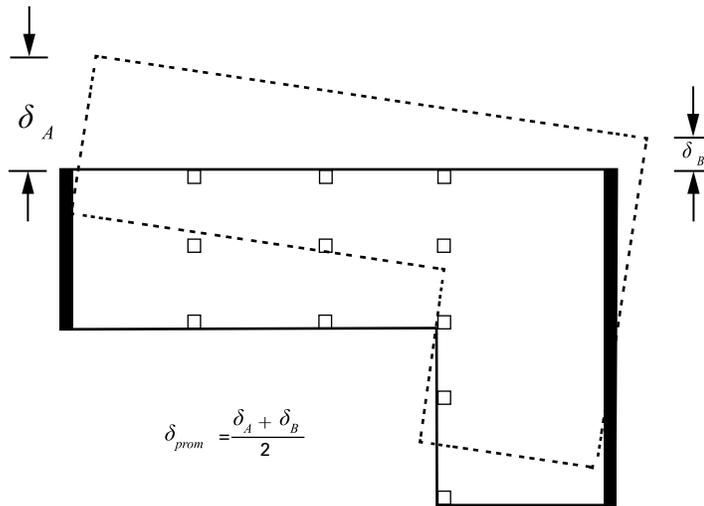


Figura 9.7-1- Factor de amplificación torsional, A_x

El factor de amplificación A_x no tendrá que exceder de un valor de 3.0, ni ser menor que la unidad. Para diseño, se considerará la carga más severa para cada elemento.

9.8 Torsión de piso y excentricidad accidental

En el diseño deben tenerse en cuenta los efectos de torsión en el piso, considerando que estos provienen de la incertidumbre en la localización de las masas dentro del piso, lo cual conduce a una torsión accidental, o debido a la a la excentricidad entre el centro de masas y el centro de rigidez cuando los diafragmas se consideran rígidos en su propio plano, o de la asimetría en la distribución de la masa y la rigidez de elementos verticales, cuando los diafragmas no pueden considerarse como rígidos en su propio plano. En caso de realizarse análisis dinámico, el análisis mismo reflejará los efectos de las torsiones que se tengan en la estructura, quedando a opción del diseñador estructural, si en él involucra o no condiciones de torsión accidental. En el caso que se utilice el método de la fuerza lateral equivalente, para la consideración de la torsión en el piso debe suponerse que la masa de todos los pisos esta desplazada transversalmente, hacia cualquiera de los lados, del centro de masa calculado de cada piso, una distancia igual al 5% 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 lateral. Cuando existan irregularidades en planta Tipo 1 según la [Tabla 5.4.2](#), debe aumentarse la torsión accidental en cada nivel según la [sección 9.7](#).

Deformaciones y derivas de piso 10

10

En esta sección se dan los procedimientos para calcular la deriva, así como sus límites permisibles. Es indispensable tener control absoluto sobre las derivas de cada piso en la edificación, ya que están asociadas con los siguientes efectos durante un evento sísmico:

10.1 Generalidades

- 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 ocupan la edificación.

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

Es un hecho que la forma de reducir los daños estructurales provocados por los movimientos sísmicos, es el dotar a la estructura de suficiente rigidez para controlar la demanda de desplazamiento inelástico a valores razonables. Esto se logra, limitando las distorsiones de piso. En este capítulo, se establece los criterios para la estimación de las distorsiones inelásticas y en el capítulo 5 (Tabla 5.5.1) se definen los valores de distorsión máxima permitida para cada sistema resistente a solicitaciones sísmicas.

COMENTARIOS

La deriva de piso Δ_i , será calculada como la diferencia de los desplazamientos en los centros de masa superior e inferior del piso en consideración. Cuando los centros de masa no estén alineados verticalmente, se permite calcular el desplazamiento inferior del piso basado en la proyección vertical del centro de masa superior.

10.2 Determinación de la deriva de piso (Δ_i)

$$\Delta_i = \delta_{i+1} - \delta_i \quad (10.2-1)$$

COMENTARIOS

El corte basal utilizado para calcular las derivas de piso es reducido por el coeficiente de reducción de respuesta R_o , los desplazamientos resultantes, deben posteriormente ser multiplicados por un coeficiente de amplificación de las deflexiones C_d , esto tiene como objeto hacer una corrección a la reducción hecha al dividir el corte basal por R_o , aproximando de esta manera el desplazamiento inelástico esperado. Sin embargo, esta corrección no es completa debido al hecho de que los valores de C_d son menores a los de R_o , para contrarrestar este efecto, se establece que el período a utilizar para el cálculo de los desplazamientos es el proveniente del análisis riguroso de la estructura que conduce a desplazamientos mayores y no el límite superior del período utilizado para determinar el corte basal mínimo $C_u T_u$.

Los desplazamientos serán determinados con el caso de carga sísmica considerada ya sea este por el método equivalente de fuerza lateral o por el dinámico modal espectral para el análisis lineal o para los registros de acelerograma para el análisis dinámico lineal y no lineal.

En estructuras de concreto reforzado, cuando se realice un análisis de primer y segundo orden para determinar las derivas de piso, el momento de inercia de las columnas y muros no fisurados debe tomarse como $0.7I_g$, la inercia de vigas y muros fisurados como $0.35I_g$ y de losas en dos direcciones como $0.25I_g$. Para mayor información sobre este tema, ver el **Artículo 13 del CR-001-2017**.

Para el cálculo de las distorsiones de estructuras de acero, se deberá seguir el método de análisis directo indicado en el capítulo C del AE-001-2017, para cumplir los requerimientos para la estabilidad estructural, lo cual, entre otras cosas, considera una reducción de la rigidez causada por la incursión inelástica.

En el caso de los desplazamientos horizontales provocados por el empuje del viento estos se limitarán en una futura norma, mientras no esté publicada dicha norma, se deberá usar un desplazamiento máximo horizontal por nivel para un análisis lineal de $H/400$ para esta fuerza.

Para estructuras que tienen irregularidad torsional, la deriva de piso será calculada como la mayor diferencia en desplazamientos de puntos alineados verticalmente en la parte superior e inferior del piso bajo consideración, a lo largo de cualquier borde de la estructura.

El desplazamiento en un nivel i (δ_i), usado para calcular la deriva de piso Δ_i , se determinará de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\delta_i = \frac{C_d \delta_{ie}}{I} \quad (10.2-2)$$

Donde:

Cd = Coeficiente de deflexión según la [Tabla 5.5.1](#)

δ_{ie} = Desplazamiento lateral elástico en un punto del nivel i calculado con el espectro de diseño que incluye el coeficiente de reducción de respuesta, en donde se han incorporado los efectos torsionales y los efectos de las dos componentes horizontales de la acción sísmica, así como los efectos de amplificación por la incorporación del análisis P- Δ en caso que deban tomarse en cuenta según se especifica en la [sección 9.5](#)

I = Factor de importancia según [Tabla 5.2.1](#)

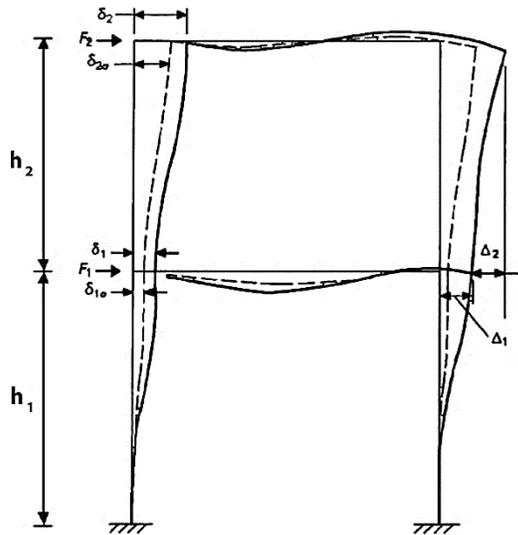


Figura 10.2-1 - Determinación de deriva de piso

Notas:

Δ_i = Deriva de piso

$\Delta_i/h_i = \gamma_i$ distorsión de piso

δ_x = desplazamiento total

i = nivel bajo consideración.

Piso nivel 1: $F_1 =$ fuerza sísmica de diseño a nivel de resistencia para el piso 1
 $\delta_{1e} =$ Desp. elástico calculado bajo fuerzas sísmicas de diseño a nivel de resistencia.

Piso nivel 1: $F_1 =$ fuerza sísmica de diseño a nivel de resistencia para el piso 1

$\delta_{1e} =$ Desp. elástico calculado bajo fuerzas sísmicas de diseño a nivel de resistencia.

$$\delta_1 = \frac{C_d \delta_{1e}}{I_E} = \text{desplazamiento amplificado}$$

$$\Delta_1 = \delta_1 \leq \Delta_a \text{ (Tabla 5.5.1).}$$

Piso nivel 2: $F_2 =$ fuerza sísmica de diseño a nivel de resistencia para el piso 2

$\delta_{2e} =$ Desp. elástico calculado bajo fuerzas sísmicas de diseño a nivel de resistencia.

$$\delta_2 = \frac{C_d \delta_{2e}}{I_E} = \text{desplazamiento amplificado}$$

$$\Delta_2 = C_d(\delta_{2e} - \delta_{1e})/I_E \leq \Delta_a \text{ (Tabla 5.5.1).}$$

10.3 Período para el cálculo de las derivas de piso

Se permite determinar el desplazamiento elástico δ_{ie} , usando las fuerzas de diseño sísmico basadas en el periodo fundamental de la estructura sin considerar el límite superior $C_u T_a$.

COMENTARIOS

La norma establece que el período fundamental utilizado para determinar el corte basal, no debe exceder el valor del período aproximado T_a multiplicado por un coeficiente de límite superior C_u , este valor límite de período $C_u T_a$ tiene como objetivo evitar el uso de un corte basal demasiado bajo estableciendo un límite inferior para la fuerza lateral que establece la resistencia de diseño, sin embargo, para efectos de calcular los desplazamientos y las distorsiones se debe utilizar el período calculado con métodos más refinados que conducen a desplazamientos mayores, siendo esta la razón de que esta norma establece el uso del período fundamental proveniente de un análisis más riguroso para el cálculos de las derivas de piso en lugar del valor limite $C_u T_a$ utilizado para determinar el corte basal mínimo.

10.4 Distorsión de piso y sus limitaciones

Se define la distorsión del piso i , como el cociente entre la deriva de piso y la altura correspondiente bajo el piso en consideración.

$$\gamma_i = \frac{\Delta_i}{h_i} \quad (10.4-1)$$

Para estructuras con categorías de riesgo I y II, la distorsión máxima (γ_{max}) se especifica en la [Tabla 5.5.1](#). Para la categoría de riesgo III, la distorsión máxima no será mayor que el 75% del valor especificado en dicha tabla, y para la categoría de riesgo IV, la distorsión máxima no será mayor que el 50% del valor de la misma tabla.

La verificación del cumplimiento de los valores límites de la distorsión de piso, se realizará en cada nivel y en cada punto de la planta de la estructura, en cada dirección de análisis.

En el diseño, se debe garantizar no solo que la edificación resista los efectos de las acciones sísmicas, sino también limitar los daños en los elementos estructurales y no estructurales como consecuencia de desplazamientos laterales excesivos. Los límites establecidos para las distorsiones están fundamentalmente orientados a reducir los daños excesivos, los valores de distorsión límite de la [tabla 5.5.1](#) toman en cuenta los objetivos de control de desplazamiento, tanto para la protección de la vida como para el control de los daños.

Los límites impuestos para las edificaciones de mayor importancia son más estrictos, esto junto al uso de factores de importancia, persigue reducir sustancialmente los daños en elementos no estructurales de las edificaciones pertenecientes a las categorías de riesgo sísmico III y IV bajo la acción de sismos severos.

COMENTARIOS

Todas las porciones de la estructura deben estar diseñadas y construidas para actuar como una unidad integral para así resistir las fuerzas sísmicas, a menos que estén separadas estructuralmente por una distancia suficiente para evitar daños por contacto como se establece en esta sección.

10.5 Separación entre edificios

Las separaciones deben permitir la máxima respuesta inelástica en términos de desplazamiento (δ_M). Se determinará en ubicaciones críticas teniendo en cuenta los desplazamientos de traslación y torsión de la estructura, incluidas las amplificaciones torsionales, en su caso, utilizando la siguiente ecuación:

$$\delta_M = \frac{C_d \delta_{max}}{I} \quad (10.5-1)$$

Donde δ_{max} = desplazamiento elástico máximo en la ubicación crítica.

Las estructuras adyacentes en la misma propiedad deben estar separadas por al menos δ_{MT} , determinado como sigue:

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \geq 15cm \quad (10.5-2)$$

donde δ_{M1} y δ_{M2} son los desplazamientos de respuesta inelástica máxima de las estructuras adyacentes en sus bordes adyacentes. Donde una estructura linda con una línea de propiedad no común a una vía pública, la estructura se alejará de la línea de propiedad por al menos el desplazamiento δ_M de esa estructura.

EXCEPCIÓN

Separaciones más pequeñas o retrocesos en la línea de propiedad, están permitidos cuando lo justifique un análisis racional basado en respuesta inelástica a los movimientos del suelo de diseño.

COMENTARIOS

El propósito de establecer separaciones mínimas entre edificaciones es permitir a dos construcciones adyacentes, o a sus partes, una respuesta dinámica independiente. Por tanto, la separación debe ser adecuada para evitar el choque durante la ocurrencia del sismo de diseño, con esto se evita interferencia en la respuesta y la posible acción destructora entre edificaciones.

Las separaciones mínimas exigidas se refieren al lindero y están calculadas a partir del nivel de base. La fórmula propuesta reconoce que las deformaciones inelásticas no tienen por qué alcanzar el valor máximo de manera simultánea para dos estructuras vecinas en todos los niveles de la edificación.

Instrumentación Sísmica **11**

La instrumentación sísmica, durante los últimos años ha desarrollado el concepto de “Monitoreo de Salud Estructural” (Structural Health Monitoring SHM por sus siglas en inglés), el cual se refiere a la generación de un diagnóstico del estado y de las características de la respuesta de una estructura ante eventos extremos (sismos, explosiones, etc.) o eventos de uso (condiciones ambientales). La idea es determinar de manera empírica el estado y las propiedades dinámicas asociadas a la “salud” de una edificación. Tales como: periodos de vibrar, amortiguamiento, formas modales y variables de su respuesta. Estos parámetros son determinados mediante la aplicación de procedimientos de identificación.

11.1 **Generalidades**

La instrumentación sísmica de una estructura permite captar información de las aceleraciones, velocidades y desplazamiento en un amplio rango, desde micro vibraciones hasta movimientos sísmicos de gran magnitud según la calibración del instrumento. El tratamiento de estas señales permite la obtención de características dinámicas de la estructura objeto de estudio. Este tratamiento puede ser automatizado mediante el empleo de herramientas matemáticas programadas mediante software, de forma que su obtención resultaría inmediata.

En términos generales el objetivo de instrumentar las edificaciones, es conocer el comportamiento de una estructura y el potencial daño que esta pueda sufrir ante cargas dinámicas generadas por un sismo, prácticamente de forma instantánea tras la acción de un sismo.

El ministerio de transporte e infraestructura establece la necesidad de instrumentar las edificaciones para conocer el estado estructural de las mismas una vez ocurrido un sismo intenso para determinar de manera inmediata el nivel de daño ocasionado, agilizando así los tiempos de respuesta ante una emergencia.

11.2 **Plan de instrumentación**

Así mismo el plan de instrumentación ayudará a proporcionar información a la red sísmica acelerográfica nacional para una mejor caracterización de los efectos sísmicos locales.

11.3 Construcciones a ser instrumentadas

En todo edificio ubicado en las zonas de alta sismicidad (zonas Z3y Z4) será obligatorio instrumentar las edificaciones que cumplan con cada una de las siguientes características:

- a) Estructuras con categoría de uso e importancia (III y IV) según lo establecido en la [sección 5.1](#).
- b) Edificios con un numero de piso igual o mayor a 5 niveles.
- c) Edificios con un número menor que 5, que posee un área construida mayor o igual a 5,000 m².

Las estructuras categorizadas como II ubicadas en la zona Z4 y que cumplan los incisos b) y c) deberá de instrumentarse al menos a nivel de base.

Las estructuras categorizadas como III y IV ubicadas en las zonas Z1 y Z2 deberá instrumentarse al menos a nivel de base.

11.4 Instrumentación Sísmica

La obtención de las propiedades dinámicas del edificio podrá ser obtenidas a partir de un registro continuo de sensores instalados en las zonas más representativas del edificio. Para ello, cada edificio será objeto de estudio para evaluar e identificar las zonas a controlar que mayor información proporcionen para llevar a cabo una evaluación estructural.

El registro real de las señales deberá ser acompañado de:

- Modelos matemáticos estructurales del edificio que proporcionen las características dinámicas teóricas (frecuencias propias, formas modales, coeficiente de amortiguamiento)
- Software que permitan identificar, a partir de los registros de aceleración reales, las formas modales asociadas a cada frecuencia propia obtenida (Figura 11.4-1).



Figura 11.4-1 - Formas modales de un muro de mampostería, obtenidas a partir de los registros reales de aceleración mediante el empleo de un software comercial

Se plantea una instrumentación sísmica para conocer, en tiempo real, las características dinámicas de los edificios y, a partir de la evolución de las mismas, conocer la pérdida de rigidez o capacidad portante de la estructura.

11.4.1 Objetivo

Para ello es necesario llevar a cabo un registro ininterrumpido durante 24 horas. Este registro continuo en tiempo real permitirá varios objetivos:

- Conocer las características dinámicas del edificio (frecuencias propias, modos de vibración, coeficientes de amortiguamiento, amplificación dinámica) y estimar otras variables como el drift al que se ve sometido el edificio durante un evento sísmico.
- Identificar las variaciones de estas características dinámicas en función de la estación temporal. Las frecuencias propias y amortiguamientos se ven afectados por las condiciones de temperatura y humedad ambiente. Para ello es necesario realizar un registro anual completo e identificar la respuesta de la estructura en cada estación.
- En caso de aparición de un evento sísmico, se compararán las propiedades del edificio antes y después, identificando así posibles pérdidas de rigidez y capacidad portante.

Deberá de conocerse las propiedades dinámicas de la edificación a instrumentar, el modelo matemático de la edificación tendrá que incorporar un análisis modal de tal manera que se tenga de forma teórica los periodos de vibración, frecuencias, masas participativas de todos los modos considerados en análisis, así como la ubicación de los centros de masas y rigideces de cada piso de la edificación. Esto con el objetivo de diseñar la instrumentación al edificio y así poder ubicar los equipos de medición en un sitio que mejor represente las variables de espacio-estado.

Deberá de utilizarse acelerómetros sísmicos en configuración triaxial. Se plantea en el empleo de acelerómetros sísmicos que permitan la obtención de características dinámicas en ausencia de eventos sísmicos, únicamente con el ambiente y acciones en servicio que actúan sobre la misma. Estos acelerómetros deberán disponer un rango de medición de $\pm 5g$ y una sensibilidad mínima de 1000 mv/g

11.4.2 Tipo de instrumento

11.4.3 Ubicación y número mínimo de sensores

Aunque las necesidades de cada edificio dependen de variables como su configuración, tipología estructural o ubicación, de forma general será necesario el empleo de, al menos, dos acelerómetros en configuración triaxial. Uno de ellos deberá ser instalado en la planta inferior, mientras que el segundo en su última planta. Dependiendo de la altura del edificio, se planteará un mayor número de acelerómetros a distintas alturas, en función de las formas modales teóricas esperables.

Cuando por disposiciones irregulares en planta o grandes huecos se esperen torsiones ante la aparición de un sismo, se duplicará el número de sensores por planta, dispuestos geoméricamente de forma opuesta.

11.4.4 Instalación y mantenimiento

La instalación de los equipos deberá de ser realizada por un profesional especialista en el área, el cual deberá de contar con una licencia de operación del MTI.

Los instrumentos deberán de estar alineados verticalmente e interconectados entre sí y estar sincronizados de tiempo.

Los instrumentos deberán de estar firmemente anclados a la estructura de tal manera que no existan desplazamiento relativo.

Los equipos deberán de colocarse en sitios alejados de maquinarias que produzcan vibraciones y deben de ser de fácil acceso y estar debidamente protegidos.

Deberá de proporcionarse los planos de instalación y ubicación de los instrumentos, para ser aprobados por parte de MTI y INETER.

El mantenimiento de los equipos de instrumentación deberá de realizarse por un especialista una vez al año.

11.4.5 Uso de la información

La información de la instrumentación estará al acceso permanente del propietario de la estructura, también de acceso permanente al MTI para las correspondiente información del daño y comportamiento estructural que contribuya a la mejora de las normas, así como de acceso permanente de INETER que permita enriquecer los datos de información sísmica y parte del sistema de alerta temprana que le permite a la población y a los usuarios y propietarios de los edificios instrumentados tener evacuaciones eficientes en caso de sismos severo.

Los costos de adquisición e instalación de los equipos debe ser responsabilidad del propietario de la edificación. La adquisición e instalación deberá ser realizada bajo la asesoría técnica de INETER y MTI.

11.4.6 Responsabi- lidades

Los costos funcionamiento y mantenimiento de los equipos debe ser responsabilidad del propietario de la edificación. El funcionamiento y mantenimiento deberá ser realizado bajo la asesoría técnica de INETER y MTI.

El espacio de instalación, energía eléctrica y conexión a internet, así como la seguridad de los equipos deben ser garantizados por el propietario de la edificación.

El acceso del personal técnico de INETER y MTI, a la instalación de los equipos, deberá ser garantizado por el propietario en días y horarios laborables, y de manera permanente en caso de eventos sísmicos severos.

Cualquier alteración de las condiciones normales de funcionamiento del equipo o alteraciones estructurales en las edificaciones instrumentadas deberá ser reportada a la brevedad posible a INETER y MTI.

Después de sismos severos, el MTI deberá dar diagnóstico estructural de la edificación para determinar si puede seguir siendo utilizada, por su parte INETER deberá publicar los shakemap de los valores de PGA registrados en superficie, que permitan identificar las zonas y las estructuras que sean posiblemente más afectadas.

12

Requisitos para el aseguramiento de la calidad del diseño y construcción de las edificaciones sismorresistentes

12.1 Requisitos para la licencia de operación de especialistas

Las licencias de especialidades a fines a la construcción de obras civiles son emitidas por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), a través de la Dirección General de Normas de la Construcción, para estas se requiere:

- Formación de posgrado de la especialidad correspondiente, validada por una Universidad reconocida por el CNU, y los títulos emitidos en el extranjero deben poseer la correspondiente incorporación de una Universidad Nacional en Nicaragua.
- Curriculum Vitae que muestre al menos tres años de experiencia ejerciendo la profesión.

12.2 Especialista facultado para diseñar

El especialista facultado para diseñar debe de poseer Licencia Vigente del MTI, la cual podrá ser verificada a través de la Dirección General de Normas de la construcción MTI, esta licencia debe ser renovada anualmente siempre y cuando se cumpla con los requisitos actuales y podrá ser suspendida por la falta o incumplimiento de los requisitos establecidos por la Dirección General de Normas.

12.3 Obligaciones de ingenieros revisores en el diseño estructural

Todo diseño estructural deberá tener una primera revisión que deberá ser garantizada por el dueño de la obra contratando a un ingeniero estructural revisor, el cual también debe tener los mismos requisitos y estar facultado como diseñador ([sección 12.2](#)). Una segunda revisión deberá ser realizada por la municipalidad (alcaldías), antes de emitir el permiso de construcción.

Adicionalmente para las estructuras categorizadas como tipo III y IV, el MTI tendrá la responsabilidad de revisar dichas estructuras por el grado de importancia. El MTI emitirá un aval de la revisión del diseño de la estructura. Para ello el profesional a cargo del diseño estructural someterá ante el MTI dicha solicitud de revisión. Toda municipalidad emitirá el permiso de construcción siempre y cuando se presente el aval del MTI.

El sistema regulatorio de la construcción nacional es controlado a nivel superior por el Ministerio de Transporte e Infraestructura, toda persona natural podrá solicitar los siguientes permisos, siempre y cuando los estudios los haga un especialista que cumpla con la [sección 12.2](#) y las obligaciones de la [sección 12.3](#)

12.4 Fiscalización de la autoridad competente

Permiso de Construcción: Este deberá ser otorgado por cada alcaldía municipal en todo el territorio nacional, este deberá garantizar que el diseño de la edificación cumpla con todos los requisitos establecidos por la alcaldía municipal.

Permiso de ocupación: Este deberá ser otorgado por las alcaldías municipales en todo el territorio nacional, este deberá garantizar que la construcción de edificaciones cumpla con todas las especificaciones de diseño y requisitos de construcción estipulados para entrar en funcionamiento.

El permiso de ocupación también deberá ser obtenido en edificios que sean afectados después de un sismo severo o que presenten daño y no cumplan con las características necesarias para garantizar la seguridad de sus ocupantes, para esto se deberá contar con el aval de MTI del diagnóstico estructural realizado por un especialista facultado para diseñar según [sección 12.2](#) que garantice el correcto desempeño de la estructura. De esta manera el permiso de ocupación puede ser suspendido porque la estructura no cumpla las características requeridas para su uso.

Aval de estudios previos: Todos los estudios de especialidades como estudios geológicos, geofísicos, geotécnicos y de ingeniería sísmica para fines de diseños de la construcción deberán tener este aval. Los estudios Geológicos deberán tener el correspondiente aval de INETER, y los estudios Geofísicos, Geotécnicos y de Ingeniería Sísmica deberán tener aval de la Dirección General de Normas de la Construcción MTI, lo que garantizará que los estudios se realizaron con pertinencia para los fines requeridos.

Acreditación de Laboratorios: Los laboratorios que realicen servicios en la construcción deberán ser acreditados por la Oficina Nacional de Acreditación (ONA) del MIFIC, para esta acreditación deberán contar con un aval técnico emitido por la Dirección General de Normas de la Construcción del MTI.

Resolución de arbitraje: La resolución de problemas técnicos y contractuales deberá ser dictaminada como autoridad técnica por la Dirección General de Normas del MTI.

12.5 Documentación estandarizada

Todo diseñador deberá entregar toda la documentación explícita en los TDR del correspondiente proyecto de diseño estructural, con un mínimo de las especificaciones según se detallan en la [sección 12.6](#)

Informe de diseño, memoria estructural modelo estructural utilizado para estructura, fundaciones y conexiones.

Planos estructurales, planos de instrumentación sísmica en caso de aplicar.

Adjuntar estudios de las especialidades, que fueron realizadas con fines de diseño (Estudio Geológico, Geotécnico, Geofísico y Sísmico). Estos informes deberán estar realizados por especialistas con Licencia vigente del MTI, correspondiente a cada especialidad.

12.6 Documentación mínima requerida

12.6.1 Planos estructurales

Se deberá indicar en la portada de los planos estructurales, junto a las notas generales, la siguiente información:

1. Factor de Importancia
2. Categoría de Riesgo
3. Tipo de Suelo
4. Capacidad soporte del suelo
5. Tipo de Sistema estructural en las direcciones principales
6. Factor de regularidad en planta y elevación
7. Valor de R_0 utilizado
8. Valor del periodo fundamental en ambas direcciones principales de la estructura
9. Valor de a_0
10. Coeficiente sísmico en ambas direcciones y Cortantes sísmicos
11. Derivas máximas amplificadas por nivel en ambas direcciones principales para el caso de sismo.
12. Velocidad de viento para diseño
13. Presión de viento PZ según RNC-07
14. Cargas variables por nivel o área de uso

Adicionalmente debe estar claramente indicado en todos los planos estructurales:

1. Nombre del proyecto
2. Nombre del diseñador y número de licencia del MTI
3. Nombre del revisor y número de licencia del MTI
4. Aval de revisión por el MTI. Para estructuras con categoría de riesgo III y IV
5. Fecha de elaboración

En la memoria de cálculo estructural se deberá tener como mínimo la siguiente información

1. Descripción de la estructura
2. Grupo de Importancia
3. Categoría de Riesgo
4. Tipo de Suelo
5. Capacidad soporte del suelo y referencia al estudio de suelos.
6. Tipo de Sistema estructural en las direcciones principales
7. Cálculo y valor de irregularidad de planta y elevación
8. Valor y cálculo de R_0 utilizado
9. Peso sísmico
10. Valor del periodo fundamental en ambas direcciones principales de la estructura
11. Valor de a_0 .
12. Cálculo Coeficiente sísmico o espectro de respuesta en ambas direcciones y Cortantes sísmicos
13. Derivas máximas amplificadas por nivel en ambas direcciones principales para el caso de sismo.
14. Velocidad viento para diseño
15. Cálculo de la presión de viento P_z según RNC-07
16. Cargas variables por nivel o área de uso
17. Cargas permanentes
18. Criterios de modelado estructural
19. Combinaciones utilizadas en el análisis estructural
20. Reacciones
21. Diseño de los elementos principales y secundarios
22. Diseño de conexiones
23. Diseño de fundaciones

12.6.2 Memoria de cálculo estructural

Adicionalmente debe estar claramente indicado en la portada de la memoria:

1. Nombre del proyecto
2. Nombre del diseñador y número de licencia del MTI
3. Nombre del revisor y número de licencia del MTI
4. Aval de revisión por el MTI. Para estructuras con categoría de riesgo III y IV
5. Fecha de elaboración

13 Disposiciones técnicas para estudio de sitio

Este capítulo de la Norma Sismorresistente señala los lineamientos y procedimientos para desarrollar los estudios previos y propios de cada sitio que permitan determinar las posibles variaciones de la acción sísmica a causa de condiciones locales, así como determinar los parámetros de diseño requeridos por el diseñador estructural.

Los especialistas que realicen estos estudios para diseños de obras civiles deberán contar con la licencia vigente emitida por la Dirección General de Normas de la Construcción del MTI y los requisitos descritos en la [sección 12.1](#) de esta Norma.

13.1 Estudios geológicos

Deberá realizarse estudio geológico siguiendo la guía técnica de estudios de fallamiento superficial (INETER 2014), para identificar estructuras geológicas y zonificar sísmicamente para identificar estructuras geológicas que permiten determinar la orientación óptima de los métodos directos e indirectos a realizar.

Las ubicaciones de los estudios por métodos directos e indirectos deberán justificarse en función de la identificación previa de estructuras geológicas cercanas al sitio de estudio, así como en la ubicación de las edificaciones proyectadas a construir, lo que deberá presentarse en un mapa que refleje las estructuras geológicas identificadas.

Estos estudios deben determinar la existencia o no del fallamiento superficial por métodos directos (Trincheras o calicata) e indirectos (Geofísica), que permitan zonificar sísmicamente el sitio y conocer la ubicación y dimensiones de estas fallas, estos estudios deben realizarse en áreas de construcción donde proyecten estructuras de las categorías III y IV y para aquellas estructuras clasificadas tipo II que lo requieran.

Los métodos geofísicos utilizados como métodos indirectos deberán realizarse por geoelectrónica, métodos sísmicos, o en su efecto magnetometría, según [sección 13.3](#).

Finalmente, el estudio geológico deberá incluir el correspondiente aval emitido por la Dirección de Geología y Geofísica de INETER.

Los valores de aceleración máxima del terreno en suelo firme (roca $V_{s30} = 760$ m/s.) para diseño de una obra civil contemplada dentro el alcance esta Norma, deberán ser los correspondientes a los definidos en los mapas de zonificación e isoaceleraciones, según [sección 6.2](#).

13.2 Estudios de amenaza sísmica

Podrán realizarse estudios de amenaza sísmica cuando se requiera conocer un nivel de amenaza en suelo firme (en roca) correspondiente a un nivel de desempeño con un periodo de retorno que no es contemplado en el estudio de amenaza de esta norma, y que los periodos de retornos sean adecuados según la importancia de la obra ingenieril a construirse, estos estudios deberán incluir:

El catálogo actualizado de sismicidad de Nicaragua y zonas marítimas adyacentes emitido por INETER.

Estudios Geológicos de fallamiento local según [sección 13.1](#).

Este estudio deberá proveer la amenaza en mapas que reflejen las máximas aceleraciones del terreno y Espectros de Amenaza Uniforme para cada grupo de fuentes (Corticales, interplaca e intraplaca), que permitan determinar la forma de onda espectral de los registros de entrada en roca, utilizados para análisis de respuesta sísmica del suelo a como se especifica en la [sección 13.5](#).

Los estudios de amenaza sísmica deberán incluir la desagregación del análisis que permita identificar los sismos que controlan la amenaza en el sitio, esto permite realizar una caracterización más precisa de registros de entrada utilizados para análisis de respuesta sísmica del suelo tal como se especifica en la [sección 13.5.1](#).

Los valores de amenaza deben corresponder a suelo firme con una rigidez correspondiente a un valor de $V_s > 760$ m/s.

13.3 Estudios geofísicos

Para la clasificación de los perfiles de suelos deberán clasificarse considerando la velocidad de propagación de onda de corte promedio hasta una profundidad de 30 metros (V_{s30}). Estos estudios deben de realizarse por al menos dos métodos de ondas superficiales tales como SPAC, MASW, F-K, tomando las condiciones más desfavorables o la correlación de ambos.

Adicionalmente deberá hacerse una correlación con una zonificación de periodos del suelo determinados por el análisis de vibración por microtemores.

Para los estudios geofísicos utilizados para determinar fallamiento local, se utilizará geoelectrónica o magnetometría, con geoelectrónica deberá realizarse con una separación máxima de electrodos de 5 metros. En caso que el especialista decida utilizar una separación mayor a 5m deberá justificar su decisión en el informe.

Para la clasificación de perfiles de suelo, de estructuras de categoría IV, o estructuras de más de 15 niveles, deberá determinarse el perfil de suelo hasta la profundidad de basamento rocoso o la profundidad especificada según en TDR designados para el diseño. O bien una profundidad máxima de 40 metros si esta no fue especificada para el diseño.

13.4 Estudios geotécnicos

Este acápite tiene el propósito de establecer los procedimientos mínimos que se deben cumplir en un estudio geotécnico para un proyecto u obra ingenieril, no se pretende establecer criterios de diseño, tarea que corresponde a un profesional competente (ingeniero geotécnico). Sin embargo, se plantean criterios básicos para el desarrollo de investigaciones del terreno, ensayos de laboratorio, análisis de la información y quedando pendiente las recomendaciones para el diseño de cimentaciones de las edificaciones.

13.4.1 Requisitos generales

Los estudios geotécnicos son de carácter obligatorio para las edificaciones urbanas en Managua, pertenecientes a las categorías de riesgos II, III y IV ([Tabla 5.1.1](#)).

Esta norma es aplicable tanto en proyectos nuevos, como en reconstrucciones y rehabilitaciones de edificaciones pertenecientes, pertenecientes a las categorías de riesgos II, III y IV ([Tabla 5.1.1](#)). En este sentido, es requisito obligatorio la realización de estudios geotécnicos para: viviendas, edificaciones para comercio, industria, puentes, muelles, torres, faros, estructuras de contención, carreteras, accesos, parqueos, viaductos, tanques, en trabajos geotécnicos como: movimiento de tierra, rellenos, excavaciones y en cualquier obra que modifique el entorno y demás estructuras clasificadas con categorías de riesgo II, III y IV.

Los estudios geotécnicos deben ser firmados exclusivamente por ingenieros especializados en el área de la geotecnia o ingenieros civiles o geólogos, titulados y con licencia profesional emitida por el MTI, como se describe en la [sección 12.1](#).

El cumplimiento de esta norma, no libera de responsabilidad al especialista responsable de la realización del estudio de ejecutar las investigaciones del subsuelo y análisis necesario para garantizar la caracterización del subsuelo y estabilidad de las obras a construirse, construcciones vecinas y obras preexistentes.

Toda edificación perteneciente a los grupos de importancia con categoría de riesgo II, III y IV deberá ser soportada por medio de una cimentación que cumpla con los requisitos relativos al diseño y construcción, sin embargo, no quedan establecidas las consideraciones de las cimentaciones de estructuras en esta norma técnica.

El estudio no es válido para una obra distinta a la indicada en el alcance del informe geotécnico.

Está completamente prohibido desplantar edificaciones sobre terreno vegetal, suelos blandos, sueltos, rellenos inestables o desechos. Sólo será aceptable cimentar sobre terreno natural firme o rellenos artificiales que no incluyan materiales degradables y cumplan con los procesos de compactación adecuados.

Se definen como una serie de actividades que se enfocan en la investigación del terreno, ensayo de laboratorio, análisis de datos y alternativas de soluciones o propuestas ingenieriles necesarias para el diseño y construcciones de obras civiles que se desplantan en el suelo con el objeto de que sea seguras y estables, sin afectar instalaciones de servicios públicos, predios y construcciones vecinas.

13.4.2 Aspectos del estudio Geotécnico

Investigaciones del suelo: Son una serie de actividades que tienen como principal propósito de determinar las propiedades físicas, mecánicas, dinámicas e hidráulicas de los materiales existentes en subsuelos mediante la aplicación de técnicas de campo y técnicas de laboratorio.

Ensayos geotécnicos de campo: consisten de una serie de pruebas in-situ enfocados en el reconocimiento del subsuelo y definir sus características físicas, mecánicas, dinámicas e hidráulicas. Se recomienda que estos ensayos se realicen según los estándares de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y Asociación de Funcionarios de Transporte de Carretera Estatal (AASHTO).

Ensayos de laboratorio: son series de pruebas que se realizan para determinar las características, ya sea físicas, mecánicas, dinámicas, hidráulicas o químicas, del producto en análisis, bajo unos procedimientos determinados (ASTM y AASHTO).

Análisis de información geotécnica: Consiste en la interpretación técnica para la caracterización del subsuelo y evaluación de mecanismos de falla, con el objeto de proporcionar parámetros y recomendaciones necesarias para el diseño y la construcción de las cimentaciones y otras obras relacionadas con el subsuelo.

Informe Geotécnico: consiste de un documento en donde se plasman las actividades realizadas en un proyecto específico, el cual se enfoca en definir el comportamiento del subsuelo, propiedades y en el que se brindan recomendaciones técnicas y propuestas de alternativas de cimentaciones en las edificaciones a construirse o rehabilitarse.

13.4.3 Tipos de estudios

Las investigaciones del subsuelo y/ cimentaciones van desde simple a muy complejos y estarán en dependencia de los requerimientos estructurales, tipos de obra, dimensiones, aspectos legales, constructivos y con las condiciones propias del medio.

Para el desarrollo de un proyecto en el que tenga que intervenir una investigación geotécnica para la cimentación de una edificación, esta puede dividirse en los siguientes estudios:

- Estudios preliminares
- Estudios definitivos
- Estudios de comprobación
- Estudios de seguimiento
- Estudios de estabilidad de laderas

Estudios preliminares: son estudios simplificados que se realizan con el propósito de aproximarse a las características geotécnicas del subsuelo, determinar las condiciones a considerar durante la ejecución del proyecto y problemas asociados durante la construcción del mismo, en ellos se incluye estudios de reconocimiento y viabilidad técnica para realizar recomendaciones sobre los criterios generales de cimentación y obras de adecuación del terreno.

En este estudio geotécnico preliminar, se debe presentar en forma general, aspectos como: geomorfología, topografía, entorno geológico, condiciones hidrogeológicas, condiciones hidráulicas, sismicidad, vegetación, edificaciones vecinas e inspecciones geotécnicas. Es muy importante tener en cuenta, el estudio de posibles problemas

geológicos y amenazas geotécnicas como: deslizamientos de terrenos, suelos colapsables, suelos licuables, problemas con arcillas expansibles, rellenos orgánicos, suelos inundables y otros problemas que puedan afectar el proyecto. El estudio geotécnico preliminar no es de carácter obligatorio su realización; sin embargo, se considera pertinente en casos de proyectos especiales o de magnitudes significativas, es de mucha ayuda en el proceso inicial de planificación. Su realización no puede, en ningún caso, reemplazar al estudio geotécnico definitivo.

Estudios geotécnicos definitivos: Son estudios enfocados en el diseño y la construcción de las obras, tienen como principal propósito analizar o resolver un proyecto en específico. Se requiere de una programación definitiva de la exploración, de la realización de ensayos de laboratorios para definir la caracterización geotécnica de los materiales y de esta forma el ingeniero geotécnicos pueda analizar y dar las recomendaciones pertinentes en el diseño y construcción del proyecto.

En este estudio se pretende seleccionar el tipo y profundidad de la cimentación, evaluar la capacidad de carga de la cimentación, estimación de posibles asentamientos en las estructuras, determinación de problemas potenciales en la cimentación (suelos expansivos, suelos colapsables, rellenos sanitarios), establecimiento del nivel freático, en caso de existir, establecimiento de métodos de construcción debido a cambios en las condiciones del subsuelo,

En este estudio debe de considerarse como mínimo los siguientes aspectos:

Información previa: El especialista en geotecnia debe recopilar y evaluar los datos disponibles sobre las características del proyecto y del sitio.

Datos generales del proyecto: se requiere el nombre, objetivo del estudio, alcance, descripción general del proyecto, sistema estructural y cargas. También se requiere de levantamiento topográfico, estructuras y obras existentes, planos del anteproyecto de la obra, en caso de existir, tipo de edificación, niveles de construcción, niveles de excavación y datos de cargas de la estructura,

Datos del subsuelo: se requiere propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas y dinámicas, caracterización geológica de los materiales (origen), topografía e influencias de aguas subterráneas, sismicidad, clima (lluvias, temperatura, y su secuencia), vegetación, existencia y características de las edificaciones vecinas e infraestructuras, y estudios geotécnicos anteriores (información geotécnica como publicaciones, memorias, registro de sondajes y exploraciones geotécnicas en sitios aledaños).

De los análisis geotécnicos: Metodología, criterios adoptados y fundamentaciones matemáticas, resumen de los análisis y justificación.

De las conclusiones y recomendaciones para el diseño: parámetros geotécnicos para el diseño estructural del proyecto como: alternativas de cimentaciones, profundidad de desplante, capacidad de carga admisible del terreno, asentamientos del suelo calculados, coeficiente de balasto,

perfil del suelo, cohesión de los suelos, ángulo de fricción, parámetros para análisis de interacción suelo-estructura junto con una evaluación del comportamiento dinámico del suelo bajo la acción de cargas sísmicas (módulo de rigidez del suelo, amortiguamiento, coeficiente de Poisson y velocidades de ondas de corte), así como los límites esperados de variación de los parámetros medidos. Por otro lado, se debe presentar un plan de contingencia en caso de que se excedan los valores previstos.

Se debe incluir también la evaluación de la estabilidad de taludes y laderas, análisis de estabilidad de las excavaciones y rellenos, diseño geotécnico de filtros y estabilidad de muros siempre y cuando sean factores de influencia en la estabilidad de la edificación.

De las conclusiones y recomendaciones para la construcción: procedimientos de construcción, tolerancia en cimentaciones, se debe instrumentar, verificar y controlar todo el proceso. Otros aspectos importantes son: los movimientos de tierra (etapas, equipos a usar), las adecuaciones del terreno, controles de compactación, estabilidad de la obra y edificaciones vecinas.

Anexos: Incluir planos de localización, ubicación de ensayos de campo, datos de perforación, resultados de ensayos de laboratorio, memorias de cálculo, esquemas, dibujos, fotografías, gráficos y todos los aspectos que se requieran para ilustrar y justificar adecuadamente el estudio y sus recomendaciones. Para mayor detalle del estudio geotécnico definitivo se abordará en la [sección 13.4.4.](#)

Estudios de comprobación: Son estudios que se llevan a cabo durante el proceso de construcción (ejemplo excavaciones para cimientos o movimientos de tierra, terracerías) antes de ser la obra construida. Como su nombre lo dice se enfoca en comprobar los resultados geotécnicos planteados en el estudio geotécnico definitivo (por ejemplo, comprobar el modelo geotécnico y propiedades de diseños establecidas). Por sus características, deben ser verificados por un especialista en geotecnia, podría requerirse alguna modificación al diseño para ajustarse a las condiciones reales del sitio.

Estudios de seguimiento: tienen como objetivo principal garantizar el funcionamiento adecuado de las cimentaciones de las edificaciones, el funcionamiento real de la estructura y obras geotécnicas en general, son muy útiles, en un dado caso, si se requiere, las medidas correctivas oportunas para evitar comportamientos no deseados de la obra. Se realizan una vez que la estructura ha entrado en operación. Es estos estudios entran las mediciones de asentamientos de una estructura con el tiempo por procesos de consolidación, la medición de las deformaciones de un muro, entre otros problemas geotécnicos.

Estudios de estabilidad de laderas: son de carácter obligatorio realizar estudio de estabilidad de laderas donde las condiciones geológicas, hidráulicas y de pendiente lo exijan y la exposición al riesgo de la obra a construir.

La investigación geotécnica consiste en estudiar el subsuelo mediante la exploración del terreno, ejecución de ensayos de laboratorio, análisis de los datos geotécnicos y recomendaciones pertinentes de diseño geotécnico.

13.4.4 Requisitos mínimos de la investigación geotécnica

La exploración geotécnica consiste en investigar el subsuelo mediante la realización de sondeos, calicatas, pozos, zanjas para efectuar ensayos de campo y recuperar muestras de suelo de los sitios estudiados. La estratigrafía se determina por medio de perforaciones con recuperación de muestras. Dependiendo de las condiciones del terreno, esto puede ser complementado con métodos de prospección geofísica, estudios geológicos de detalle, pozos y trincheras de exploración, entre otros.

Un programa de investigación de terreno y laboratorio debe cumplir lo indicado en la [Tabla 13.1](#) y [Tabla 13.2](#) y este dependerá de la complejidad del proyecto, la cual está condicionada por dos criterios, el primero dependiente de la categoría de la edificación que se intenta construir y el segundo dependiente de la variabilidad del subsuelo sobre el que ésta se apoyará. En este sentido, el número de perforaciones, distribución y espaciamiento dependen tanto de las condiciones del sitio como de las características de la obra, por tanto, se hace necesario definir la complejidad geotécnica y magnitud de la obra.

Variabilidad del subsuelo: La variabilidad del subsuelo está definida de acuerdo a las condiciones del mismo y pueden establecerse como una consecuencia de los estudios de microzonificación sísmica. La variabilidad del subsuelo se define como variabilidad baja, media o alta, cuando exista para una localidad el estudio de microzonificación sus disposiciones primarán, en caso de conflicto aparente se recomienda trabajar con [Tabla 13.1](#).

Variabilidad baja: Son materiales con poca variabilidad, corresponden a subsuelos con espesores y características mecánicas bastante homogénea, originados en formaciones geológicas simples y se cuenta con información comprobable sobre las condiciones del terreno.

Variabilidad media: Se define para situaciones intermedias entre variabilidad baja y alta, en estos materiales las alternativas de cimentación no siempre es la misma, podrían ser rellenos antrópicos de cierta relevancia, que probablemente no superen los 3.0 m de espesor.

Variabilidad alta: Corresponde a subsuelos donde existen variaciones importantes entre una perforación y otra, son materiales provenientes de formaciones geológicas complejas, con alternancia de capas de materiales con orígenes y espesores diferentes, heterogeneidad dentro de las mismas capas, terrenos de topografía irregular con accidentes importantes tales como depósitos de ladera, flujos de lodos y escombros.

forma especial se considerarán en este grupo los terrenos en los que se detecten o encuentren las siguientes condiciones: Suelos expansivos, suelos colapsables, suelos blandos o sueltos, terrenos kársticos, terrenos heterogéneos en cuanto a su composición y estado, rellenos antrópicos o con espesores superiores a los 3 m, Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos, rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades, terrenos con pendiente superior a los 15° y Suelos residuales de malas características geotécnicas.

Categoría de la edificación: Estas fueron definidas en la [Tabla 5.1.1](#), la cual califica como estructuras no destinadas a habitación (categoría de riesgo I), estructura de ocupación Normal (categoría de riesgo II), estructura de ocupación especial (categoría de riesgo III) y estructuras esenciales (categoría de riesgo IV). Sin embargo, en estas consideraciones geotécnicas para ser más específico, se establecerá las siguientes categorías según la magnitud de la obra ([Tabla 13.4.1](#)).

Tabla 13.4.1 - Magnitud de la obra para edificios y casas

Categoría de la edificación	Edificaciones		Características o ejemplos	Casas	
	Área (m ²)	Número de pisos		Área (m ²)	Numero de repeticiones
Baja	100 a 250	≥ 3	Residencias, urbanizaciones, bodegas, tanques, entre otras	< 1000	0 - 10
Media	250 a 1000	4 a 10	Edificaciones de 4 a 10 niveles o cargas menores de 3000 kN por apoyo y naves industriales	1000 - 5000	10 - 100
Alta	1000 a 1500	>10	Edificaciones mayores de 10 niveles o cargas mayores de 3000 kN por apoyo.	5000 - 10000	100 - 500
Especial	> 1500	Construcciones que, por su magnitud, complejidad estructural o de excavación, o condiciones especiales de proceso constructivo, requieren de estudios particulares. Casos especiales de cimentación como losas, pilotes, cajones de cimentación, entre otros.		> 10000	> 500

En la [Tabla 13.4.2](#) se muestra el grado de complejidad geotécnica del proyecto, mediante la matriz de calificación. Se establecen los grados de complejidad como I, II, III y IV mediante la matriz de calificación en donde se compara la categoría de la edificación y la variabilidad del suelo.

Tabla 13.4.2 - Complejidad de proyecto

Categoría de la edificación	Variabilidad del subsuelo		
	Baja	media	Alta
Baja	I	I	II
Media	II	II	III
Alta	III	III	IV
Especial	III	IV	IV

En la [Tabla 13.4.3](#) se muestran los requisitos mínimos para realizar la exploración de campo. En la que se establece en número de perforaciones (ensayos de perforaciones standard SPT o perforaciones rotativas), distribución y espaciamiento dependen tanto de las condiciones del sitio como de las características de la obra.

Tabla 13.4.3 - Requisitos mínimos para la exploración de campo

Categoría de la edificación	Complejidad geotécnica		
	Baja	Media	Alta
Baja	S mín: 2 D máx: 50 m P mín: Df + 4	S mín: 4 D máx: 30 m P mín: Df + 5 m	S mín: 4 D máx: 20 m P mín: Df + 6 m
Media	S mín: 3 D máx: 40 m P mín: Df + 5 m	S mín: 4 D máx: 25 m P mín: Df + 5 m	S mín: 5 D máx: 20 m P mín: Df + 6 m
Alta	S mín: 3 D máx: 30 m P mín: Df + 6 m	N mín: 5 E máx: 20 m P mín: Df + 6 m	S mín: 6 D máx: 15 m P mín: Df + 7 m
Especial	El especialista en geotecnia definirá la campaña de campo dada la importancia del proyecto		

S mín: Número mínimo de perforaciones o puntos de exploración.
D máx: Espaciamiento máximo entre puntos de sondeo o de exploración.
P mín: Profundidad mínima de los sondeos, en m.
Df: Profundidad de desplante estimada de cimentaciones, en m.

Características, distribución y profundidad de los sondeos

Las características y distribución de los sondeos deben cumplir las siguientes disposiciones, incluyendo los mostrados en la [Tabla 13.4.3](#).

1. Se debe cumplir que en el 50% de los sondeos establecido en el estudio definitivo, se deben realizar muestreo de suelo o roca.
2. El muestreo debe de realizarse de manera continua o en su efecto en cada cambio de material o por cada 1 m de longitud del sondeo.

3. Como mínimo se establece que el 60% de los sondeos queden ubicados dentro de la proyección sobre el terreno de las construcciones.
4. En caso de haber realizado un estudio preliminar, los sondeos realizados en este estudio pueden incluirse como parte del estudio definitivo, siempre y cuando hayan sido ejecutados con la rigurosidad, calidad y siguiendo las especificaciones establecidas en esta norma.
5. El número de sondeos finalmente ejecutado para cada proyecto en específico, debe cubrir completamente el área de construcción o sitio donde se emplazará cada unidad o unidades en el proyecto.
6. El 60% de todos los sondeos deben alcanzar la profundidad establecida en la [Tabla 13.4.3.](#) y deben considerar los siguientes aspectos:
 - La profundidad mínima de exploración deberá garantizar además que se estudie el terreno existente dentro del bulbo de presión significativa de la cimentación o un 10% de los esfuerzos transmitidos por la estructura.
 - En cimentaciones tipo zapata corrida, la profundidad de investigar se recomienda 1.5 veces el ancho de este cimiento o utilizar la [Tabla 13.3.](#)
 - Para zapatas aisladas se recomienda utilizar la [Tabla 13.4.3.](#) o utilizar la profundidad de investigación de 2.5 veces el ancho de la zapata de mayor dimensión.
 - En el caso de cimentaciones profundas, se sugiere, que la profundidad de investigación sea de 1.25 veces la longitud del pilote más largo.
 - Cuando se utilice grupos de pilotes, la profundidad de investigación se recomienda se de 2.5 veces el ancho del cabezal de mayor dimensión para grupos de pilotes.
 - La profundidad de investigación, en el caso de excavaciones, esta debe ser como mínimo 1.5 veces la profundidad de excavación.
 - En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, en proyectos de complejidad I los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales; para proyectos de complejidad II los sondeos deben penetrar un mínimo de 2 m en dichos materiales, o dos veces el diámetro de los pilotes en éstos apoyados; para proyectos de complejidad III y IV los sondeos deben penetrar un mínimo de 4 m o 2.5 veces el diámetro de pilotes respectivos, siempre y cuando se verifique la continuidad de la capa o la consistencia adecuada de los materiales.

Como parte del programa de investigación geotécnica se deben establecer los ensayos de laboratorio con los que se pretende caracterizar el subsuelo desde el punto de vista físico, mecánico e hidráulicas y en algunas ocasiones se determina las características dinámicas y químicas de los materiales.

Estos ensayos pueden realizarse en muestras de tipo alteradas o en muestras de tipo inalteradas. Para la ejecución de cada ensayo se siguen procedimientos estándares adecuados los cuales brinden las condiciones del subsuelo y su interacción con la estructura, generalmente se utilizan las normas ASTM y normas AASHTO en caso de usar en obras horizontales como accesos, caminos y carreteras hacia las edificaciones. En la [Tabla 13.4.3.](#) se muestra una guía que indica los ensayos a realizar y el estándar a utilizar.

Consideraciones en los ensayos de laboratorio

- El tipo y cantidad de ensayos de laboratorio dependen de las características del terreno y criterio del especialista. Las muestras obtenidas de la exploración de campo serán seleccionadas por el ingeniero geotecnista con el propósito de clasificación de materiales, determinación de propiedades índices y ensayos de propiedades mecánicas (resistencia al corte, deformación y permeabilidad de los diferentes materiales afectados por el proyecto., entre otras).
- Para suelos se deben realizar ensayos de clasificación para cada estrato o unidades estratigráficas, propiedades físicas, mecánicas hidráulicas, dinámicas y cuando sea necesario propiedades químicas. Los ensayos detallados a realizar son: resistencia al corte, deformabilidad, expansión, permeabilidad, peso unitario, se determinan en cada caso mediante procedimientos aceptados de campo o laboratorio. Cuando las condiciones lo requieran, los procedimientos de ensayo se deben orientar de tal modo que permitan determinar la influencia de la saturación, drenaje, confinamiento, cargas cíclicas y en general otros factores significativos sobre las propiedades mecánicas de los materiales investigados.
- Para rocas, se establece como mínimo determinación de propiedades físicas (densidad, absorción, peso específico, entre otras), propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión simple, nivel de alteración y calidad a través del RQD cuando se extraen núcleos de sondeos.

Nota: El ingeniero responsable del estudio puede sustituir ensayos de laboratorio por ensayos de campo, realizados con equipos y metodologías de reconocida aceptación técnica, siempre y cuando, sus resultados se respalden mediante correlaciones confiables con los ensayos convencionales, sustentadas en experiencias locales publicadas.

Tabla 13.4.4 - Ensayos de laboratorio

Característica	Ensayo	Designación ASTM	Designación AASHTO	Propósito
Clasificación	Contenido de humedad natural del suelo.	D 2216	T-265	- Clasificar los materiales de acuerdo con sistemas internacionales.
	Gravedad específica y pesos específicos	D 854, C 127 y C 128,	T-84 y T-85	-Obtener correlaciones con propiedades índices y mecánicas.
	Pesos unitarios	C 29	T-19	
	Distribución del tamaño de los granos	D 422	T-27	
	Límites de consistencia	D4318	T-89 y T-90	
Resistencia	Compresión simple (uniaxial)	D 2166/ C 805	T-208	Determinar la resistencia al Corte y calcular la resistencia última a la falla, parámetros que con los que se determina la capacidad de carga admisible del terreno.
	Compresión Triaxial	D 4767 y D 2850	T-234 T-236	
	Corte directo	D 3080	T-223	
	Veleta	D 4648		
Compresibilidad y expansión	Consolidación	D 2435	T-216	Medir parámetros de deformación, calcular asentamientos y expansión en suelos arcillosos (cohesivos).
	Expansión bajo Carga	D 4546	T-258	
	Expansión Libre	D 2844	T-190	
Otros ensayos	Permeabilidad	D 2434 y D 5084	T-215	Evaluación de casos particulares, según las consideraciones del ingeniero geotecnista.
	Proctor estándar y Proctor Modificado	D 698 D1557	T-99, T-90 T-180	
	CBR	D 1883	T-193	

Para el análisis de respuesta del suelo para determinar un espectro de diseño propio del sitio (seudoaceleraciones, 5% del amortiguamiento crítico), con una envolvente suavizada representativa de los posibles movimientos del terreno, deberán usarse al menos 10 registros sísmicos de entrada, que sean consistentes con la aceleración máxima según el mapa de zonificación para un periodo de retorno de 475 años en suelo firme (760 m/s). Adicionalmente, los registros de entrada deben ser consistentes con la curva del espectro de amenaza uniforme de la zona.

13.5 Estudios sísmicos (Espectro propio para diseño de sitio)

Para el análisis de respuesta dinámica del suelo de propagación de ondas unidimensionales, deberá usarse el método lineal equivalente, con al menos 2 curvas de propiedades dinámicas de diferentes autores. Cuando el caso lo amerite, la autoridad competente podrá recomendar la ejecución de análisis unidimensionales por método no lineal o análisis bidimensional.

13.5.1 Análisis de respuesta del suelo (Espectro propio para diseño de sitio)

Para el análisis de respuesta del suelo deberá utilizarse como función de transferencia del sitio, el perfil determinado por métodos geofísicos utilizados para la clasificación, según [sección 13.4](#).

Podrán usarse los factores de amplificación vertical del suelo obtenidos por el análisis de respuesta dinámico propio del sitio para construir un espectro de diseño según la función de forma del espectro de diseño dada en esta Norma, para los suelos tipo C, siempre que la envolvente suavizada de la media obtenida no exceda la función de forma del espectro de diseño para este tipo de suelo determinada con los Factores de amplificación vertical por tipo de suelo F_{as} según [sección 6.4](#).

Para determinar un espectro de diseño propio del sitio de estructuras que requieren ser diseñadas con un nivel de desempeño o periodo de retorno de la amenaza sísmica que no está dentro del alcance esta norma y que la amenaza fue determinada según la [sección 13.2](#), deberá determinarse un espectro de diseño propio para cualquiera de los tipos de suelo según la clasificación V_{s30} , N_{60} , S_u .

Adicionalmente para determinar la función de un espectro de diseño propio del sitio deberá corroborarse las máximas aceleraciones espectrales con los periodos de vibración natural del suelo obtenidos por métodos geofísicos de análisis de vibración ambiental según la [sección 13.3](#). Las funciones definidas en la [sección 6.7](#) se usarán para definir el espectro de diseño de sitio con todos los parámetros que ajusten mejor el espectro de respuesta del sitio.

13.5.2 Registros sísmicos para análisis de estructura

Para el análisis historia tiempo en estructuras, deberán usarse no menos de 11 registros de entrada, estos deberán ser consistentes con los espectros de amenaza uniforme en roca y periodo de retorno del correspondiente nivel de desempeño del análisis. Estos registros deberán ser convolucionados a la superficie por la correspondiente función de transferencia del perfil de suelo del sitio, determinada con las especificaciones de la [sección 13.3.](#)

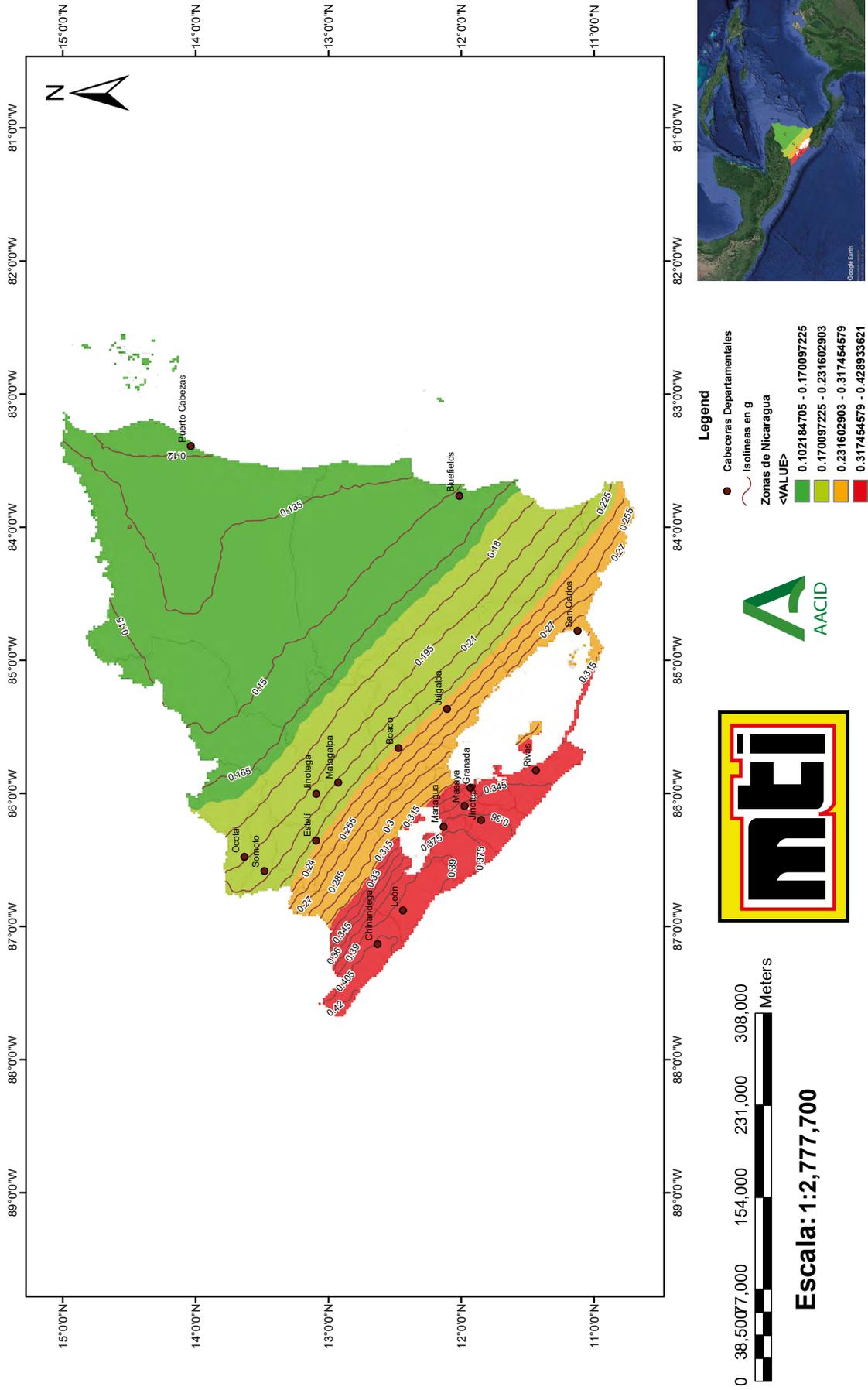
Está permitido el uso de acelerogramas reales o de acelerogramas generados mediante una simulación física de los mecanismos de la fuente y de la trayectoria, con la condición de que las muestras utilizadas (que no serán menos de 3) estén en consonancia con las características sismogénicas de las fuentes y con las condiciones del suelo descritas en el estudio de amenaza sísmica de esta norma, y de que sus valores se escalen al valor $a_0 \cdot F_{as} \cdot I$ correspondiente a la zona que se considera.

Página intencionalmente en blanco

14.1 Mapa de isoaceleraciones

14 ANEXOS

Mapa de Isoaceleraciones (g) de Nicaragua

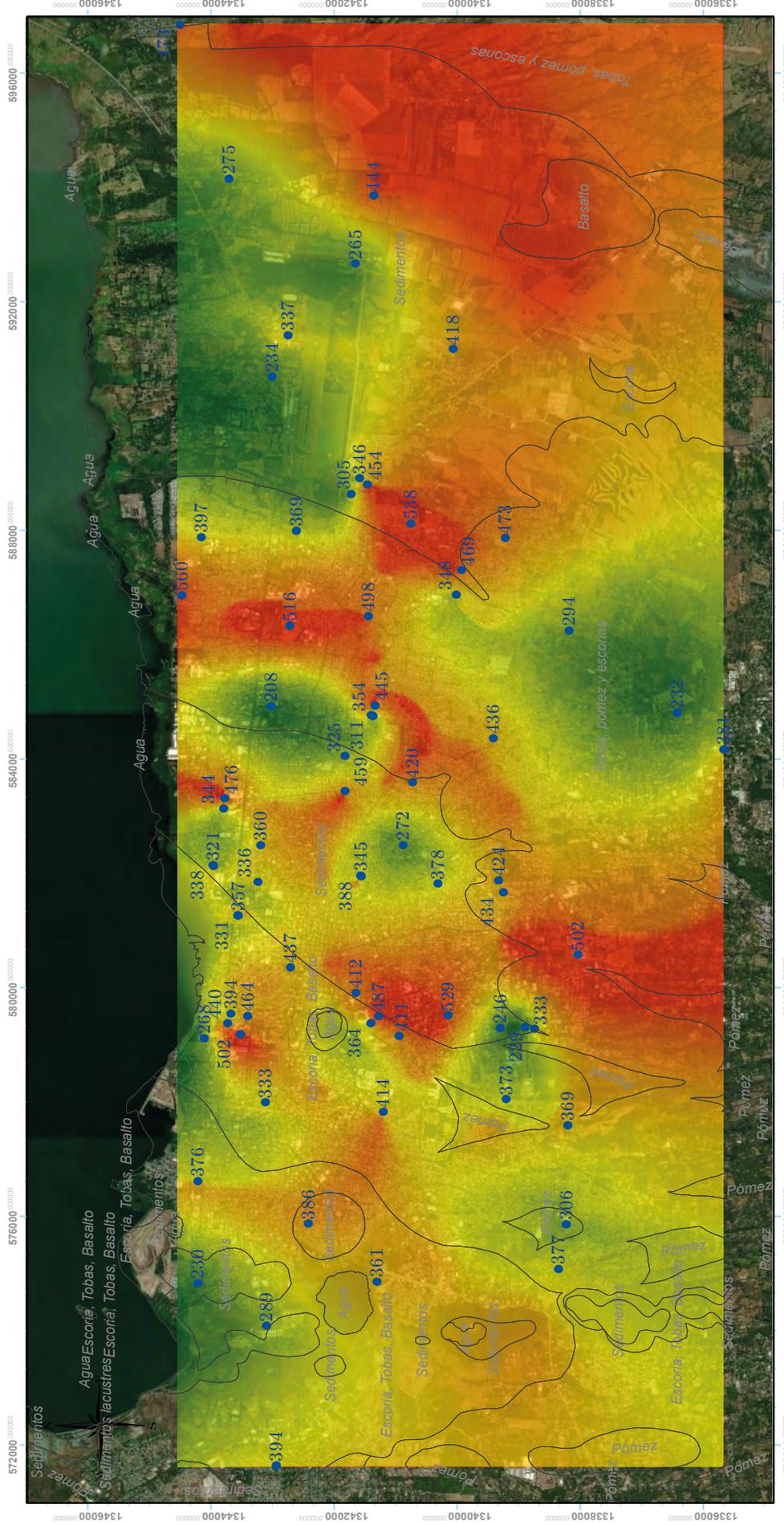


14.2 Tabla de valores de a_0 PGA 475 años

Departamento	Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)	Aceleración	Zona	Departamento	Longitud (Oeste)	Latitud (Norte)	Aceleración	Zona
CHINANDEGA	12.62937	-87.13105	0.407450	Zona 1	SAN JOSE DE CUSMAPA	13.28330	-86.65000	0.230908	Zona 2
EL VIEJO	12.66348	-87.16663	0.406850		ESTELÍ	13.08330	-86.35000	0.229832	
EL REALEJO	12.54307	-87.16466	0.406553		CAMOAPA	12.38330	-85.51670	0.227043	
CORINTO	12.48250	-87.17304	0.402359		ESQUIPULAS	12.66670	-85.78330	0.225594	
CHICHIGALPA	12.56670	-87.03330	0.396122		SAN FRANCISCO DE CUAPA	12.26670	-85.38330	0.225494	
POSOLTEGA	12.54310	-86.97890	0.395105		SAN DIONISIO	12.75000	-85.85000	0.223672	
QUEZALGUAQUE	12.50610	-86.90330	0.394123		LAS SABANAS	13.35000	-86.61670	0.221183	
LA PAZ CENTRO	12.34000	-86.67530	0.392197		SAN JUAN DE NICARAGUA	10.94800	-83.73420	0.219464	
TONALÁ	12.76842	-87.13107	0.391709		SANTO TOMAS	12.06670	-85.08330	0.216900	
NAGAROTE	12.26750	-86.56530	0.391216		EL ALMENDRO	11.68330	-84.70000	0.216607	
VILLA EL CARMEN	11.97879	-86.50723	0.386383		LA LIBERTAD	12.21670	-85.16670	0.213588	
MATEARE	12.23460	-86.43138	0.380808		MATAGALPA	12.91670	-85.91670	0.212623	
EL CRUCERO	11.98330	-86.31670	0.378408		VILLA SANDINO	12.04830	-84.99362	0.212457	
CIUDAD SANDINO	12.15890	-86.34420	0.378162		SAN LUCAS	13.41670	-86.60000	0.211869	
SAN RAFAEL DEL SUR	11.84854	-86.43839	0.374813		SANTA MARIA	13.75000	-86.71670	0.210481	
MANAGUA	12.13282	-86.25040	0.366670		PUEBLO NUEVO	13.38330	-86.48330	0.207684	
DIRIAMBÁ	11.85812	-86.23922	0.365774		SOMOTO	13.48330	-86.58330	0.205631	
SAN MARCOS	11.91670	-86.20000	0.363454		SAN RAMON	12.91667	-85.83333	0.205575	
SANTA TERESA	11.73330	-86.21670	0.360877		CONDEGA	13.35000	-86.40000	0.204562	
EL ROSARIO	11.83330	-86.16670	0.360298		MUYMUY	12.76670	-85.63330	0.204195	
LA CONQUISTA	11.73330	-86.20000	0.360043		LA CONCORDIA	13.18330	-86.16670	0.203013	
MASATEPE	11.91445	-86.14458	0.358639		SANTO DOMINGO	12.26670	-85.08330	0.202712	
LA PAZ DE ORIENTE	11.82159	-86.13065	0.357333		NUEVA GUINEA	11.68330	-84.45000	0.202075	
NANDASMO	11.93330	-86.11670	0.353781		JINOTEGA	13.09103	-86.00234	0.201012	
NIQUINHOMO	11.90518	-86.09446	0.353352		YALAGUINA	13.48333	-86.48333	0.200849	
MALPAISILLO	12.67572	-86.57162	0.353095		MACUELIZO	13.65000	-86.61670	0.199169	
NANDAIME	11.75000	-86.05000	0.352472		PALACAGUINA	13.45000	-86.40000	0.198324	
TOLA	11.43330	-85.93330	0.345397		SAN RAFAEL DEL NORTE	13.21670	-86.11670	0.197737	
SAN JUAN DEL SUR	11.25292	-85.87049	0.343685		TOTOGALPA	13.56270	-86.49240	0.197074	
BELÉN	11.50000	-85.88330	0.342530		EL CORAL	11.91580	-84.65030	0.196575	
POTOSÍ	11.49416	-85.85680	0.339339		SAN SEBASTIAN DE YALI	13.30000	-86.18330	0.195701	
RIVAS	11.43330	-85.83330	0.335964		OCOTAL	13.63330	-86.48330	0.194016	
BUENOS AIRES	11.46670	-85.81670	0.335299		DIPILTO	13.71670	-86.50000	0.191357	
SAN JORGE	11.45584	-85.80308	0.334595		MOZONTE	13.65000	-86.45000	0.189288	
GRANADA	11.92988	-85.95602	0.332963		TELPANECA	13.52928	-86.28568	0.189046	
TIPITAPA	12.20060	-86.09390	0.328836		MATIGUAS	12.83330	-85.46670	0.188226	
CÁRDENAS	11.20000	-85.51670	0.326221		CIUDAD ANTIGUA	13.63330	-86.31670	0.184781	
TISMA	12.08194	-86.01739	0.325204		MUELLE DE LOS BUEYES	12.06670	-84.53330	0.182672	
MOYOGALPA	11.53330	-85.70000	0.324525		SAN FERNANDO	13.68137	-86.31486	0.182580	
ALTAGRACIA	11.56670	-85.58330	0.312272		LA DALIA	13.06670	-85.75000	0.182305	
SAN FRANCISCO LIBRE	12.50470	-86.30030	0.309043		SAN JUAN DEL RIO COCO	13.54483	-86.16506	0.181925	
SOMOTILLO	13.03330	-86.91670	0.299712		SANTA MARIA DE PANTASMA	13.27197	-86.04677	0.181543	
VILLANUEVA	12.96360	-86.81470	0.295717		BOCANA DE PAIWÁS	12.78571	85.12269	0.174387	
SAN CARLOS	11.12300	-84.77870	0.293260		EL AYOTE	12.49470	-84.81940	0.174218	
EL JICARAL	12.72720	-86.38080	0.290595		QUILALÍ	13.56670	-86.03330	0.173706	
SAN MIGUELITO	11.40000	-84.90000	0.282374		EL JICARO	13.71670	-86.13330	0.172507	
SANTA ROSA DEL PEÑÓN	12.80110	-86.37060	0.281296		RIO BLANCO	12.93330	-85.21670	0.171977	
EL SAUCE	12.88690	-86.53810	0.278710		RANCHO GRANDE	13.23655	-85.55864	0.171081	
SANTO TOMAS DEL NORTE	13.18440	-86.92190	0.277569		JALAPA	13.91670	-86.13330	0.171061	
PUERTO MORRITO	11.62090	-85.07919	0.274547		MURRA	13.76667	-86.01667	0.169168	
EL LLANO	11.02230	-84.81360	0.265644		EL CUÁ	13.36750	-85.67330	0.168329	
SÁBALOS	11.05000	-84.46670	0.263217		WIWILÍ DE NUEVA SEGOVIA	13.61670	-85.83330	0.164163	
TEUSTEPE	12.41670	-85.80000	0.260007		WIWILÍ DE JINOTEGA	13.62680	-85.82540	0.164042	
SAN FRANCISCO DEL NORTE	13.20000	-86.76666	0.259346		EL RAMA	12.33333	-84.66667	0.162554	
SAN PEDRO DEL NORTE	13.26670	-86.88330	0.258956		WASLALA	13.33100	-85.37460	0.158999	
CIUDAD DARÍO	12.73060	-86.12500	0.257376		SAN JOSE DE BOCAY	13.53330	-85.53330	0.156791	
ACHUAPA	13.05370	-86.59004	0.256640	MULUKUKU	13.17320	-84.95540	0.154564		
SAN NICOLAS	12.93240	-86.34810	0.251660	BLUEFIELDS	12.01310	-83.76530	0.152154		
SAN LORENZO	12.38330	-85.66670	0.245579	KUKRA HILL	12.25000	-83.75000	0.145158		
JUIGALPA	12.10100	-85.36710	0.242460	EL TORTUGUERO	12.81670	-84.20000	0.144585		
TERRABONA	12.73330	-85.96670	0.238550	WASPAM	14.73330	-83.96670	0.144201		
SAN JUAN DE LIMAY	13.16670	-86.61670	0.237303	LA CRUZ DE RIO GRANDE	13.11670	-84.18330	0.140276		
SEBACO	12.85110	-86.09940	0.237089	LAGUNA DE PERLAS	12.34294	-83.67123	0.139541		
LAS CAÑAS	11.52870	-86.14750	0.236741	SIUNA	13.73321	-84.77725	0.137890		
SAN JOSÉ DE GUASIMAL	12.95530	-86.22410	0.235858	ALAMIKAMBA	13.50000	-84.21670	0.136219		
SAN ISIDRO	12.93190	-86.19530	0.235803	BONANZA	14.02885	-84.59103	0.134497		
LA TRINIDAD	12.96880	-86.23530	0.235099	ROSITA	13.88330	-84.40000	0.134043		
COMALAPA	12.28330	-85.51670	0.234868	KARAWALA	12.93231	-83.57762	0.127771		
SANTA LUCIA	12.53330	-85.71670	0.234427	BILWI	14.03330	-83.38330	0.113379		
BOACO	12.46670	-85.66670	0.234379						
SAN JOSE DE LOS REMATES	12.60000	-85.76670	0.234373						
ACOYAPA	11.96670	-85.16670	0.233193						

14.3 Mapa de Vs30 para Managua

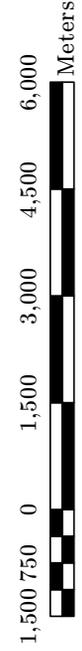
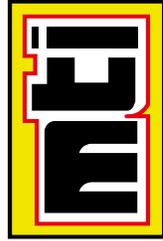
Mapa de Vs30 para la Ciudad de Managua



Legend

- Sitios de Estudio
- Geologia_poly

Value
High : 565.268
Low : 147.172



Escala: 1:62,500

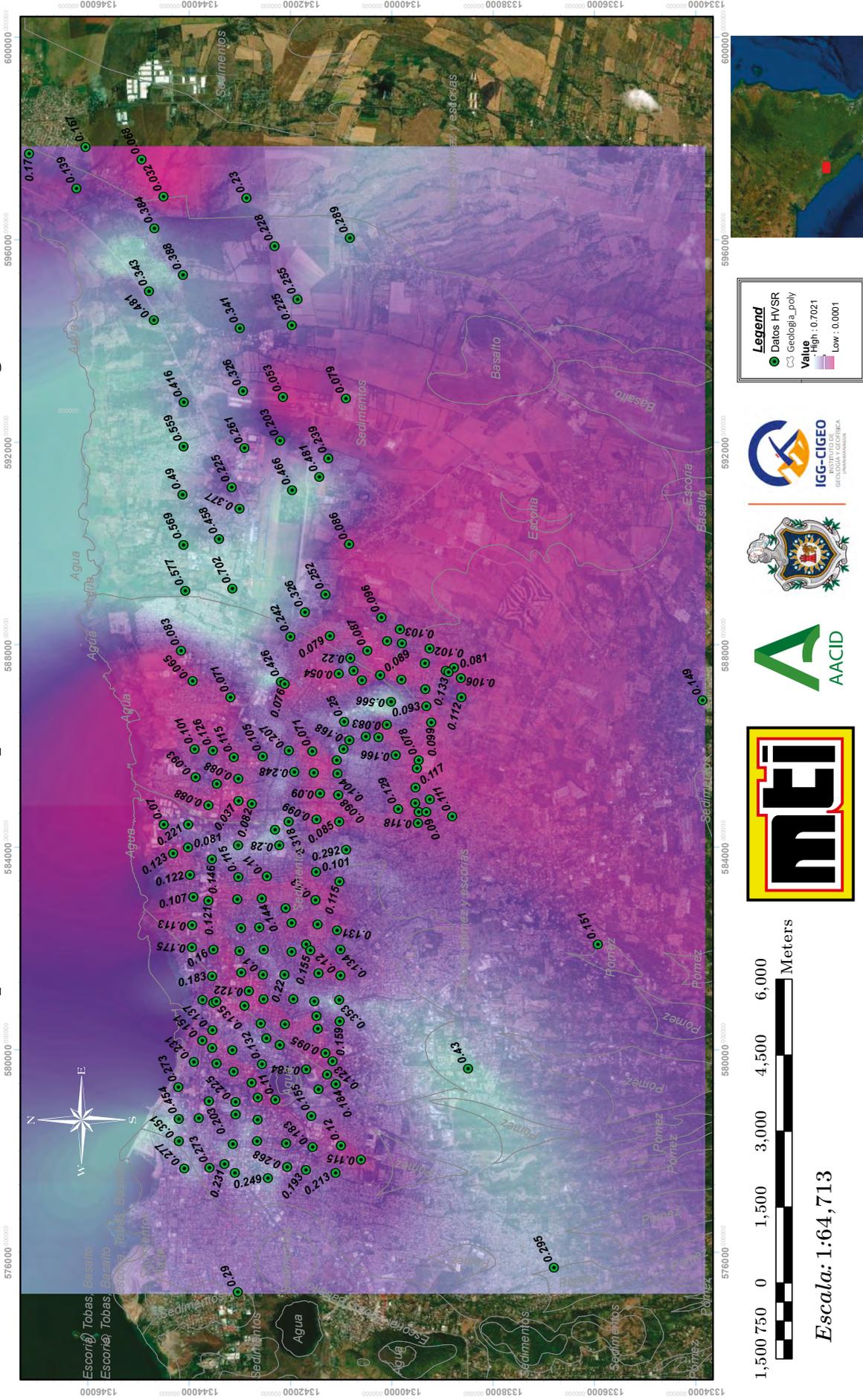
14.4 Tabla de sitios con sus respectivas coordenadas y Vs30

Coordenadas UTM					Vs30(m/s)	Color en Mapa
NOMBRE DEL SITIO	Este	Norte	Norte	Este		
Compañía Cervecería De Nicaragua	586866.2522	1344473.103	1344473.103	586866.2522	560	
LAURELES SUR	588119.1593	1340753.302	1340753.302	588119.1593	538	
Pista Cardenal Miguel Obando	579513.0018	1340143.889	1340143.889	579513.0018	529	
NIMAC	586335	1342717	1342717	586335	516	
Pista Jean Paul Gennie	580573.6653	1338036.719	1338036.719	580573.6653	502	
Parque Luis Alfonso	579182	1343520	1343520	579182	502	
Cementerio Villa Libertad	586502.9907	1341438.907	1341438.907	586502.9907	498	
UNI	579507.8	1341271	1341271	579507.8	487	
Planta De La PARMALAT	583309.5039	1343776.24	1343776.24	583309.5039	476	
Villilib	587864	1339217	1339217	587864	473	
Tiptapa	596849.6	1344502	1344502	596849.6	473	
Parque Manuel Fernandez	587304	1339926	1339926	587304	469	
Hotel Balmoral (SWM2)	579505	1343401	1343401	579505	464	
UNI - RUPAP	583445.9257	1341817.823	1341817.823	583445.9257	459	
Parque Villa Dignidad	588806.84	1341456.82	1341456.82	588806.84	454	
Anexo Villa Libertad	584936.7895	1341331.363	1341331.363	584936.7895	445	
Cofradía 2.1 km NW	593855.3	1341353	1341353	593855.3	444	
Catedral Vieja	579382	1343726	1343726	579382	440	
UNAN - RUCFA	580357.6646	1342707.3	1342707.3	580357.6646	437	
Hogar Zacarias Guerra	584369.4293	1339412.314	1339412.314	584369.4293	436	
Colonia Centroamerica (SWM4)	581667	1339247	1339247	581667	434	
ZG	581880.3	1339321	1339321	581880.3	424	
Parque Hugo Chavez	583594	1340722	1340722	583594	420	
Campo Deportivo Sabana Grande	591174	1340063	1340063	591174	418	
Instituto Nacional del Deporte	577825	1341197	1341197	577825	414	
Cristo Rey	579917.0668	1341642.522	1341642.522	579917.0668	412	
Repto. Tiptapa	579162	1340939	1340939	579162	411	
Americas 2	587881.5	1344155	1344155	587881.5	397	
Escombros de Santo Domingo	579549.902	1343674.168	1343674.168	579549.902	394	
DIINSA Carretera Nueva a Leon	571642.9	1342936.767	1342936.767	571642.9	394	
Parque el Dorado	581946.66	1341555.03	1341555.03	581946.66	388	
Parque Batáholia Norte	575873	1342416	1342416	575873	386	
10.5 A Carretera A Masaya	584170.4322	1335664.383	1335664.383	584170.4322	381	
Polideportivo España	581822	1340309	1340309	581822	378	
Cancha deportiva Villa Nueva	575083.2	1338351.03	1338351.03	575083.2	377	
Pista de Atletismo Galdala Maria	576618	1344212	1344212	576618	376	

Coordenadas UTM					Vs30(m/s)	Color en Mapa
NOMBRE DEL SITIO	Este	Norte	Norte	Este		
Escuela Rosa Sarron	578052	1339201	1339201	578052	373	
Cantera	587998	1342608	1342608	587998	369	
Memorial Sandino	577594.5824	1338198.028	1338198.028	577594.5824	369	
UNI_ES	579380.4597	1341400.88	1341400.88	579380.4597	364	
Parque las Piedrecitas	574859.1276	1341302.07	1341302.07	574859.1276	361	
Estadio de Beisbol San Luis	582494	1343191	1343191	582494	360	
Chico Pelon	581270.8	1343553	1343553	581270.8	357	
Las Americas	584763	1341395	1341395	584763	354	
Villilib2	586877.3	1340011	1340011	586877.3	348	
Bo.La Curva	588913	1341582	1341582	588913	346	
Dorado	581964.2	1341564	1341564	581964.2	345	
Br. Santa Clara	583138	1343790	1343790	583138	344	
Las Torres	582135	1343957	1343957	582135	338	
UNA	591421.3611	1342743.127	1342743.127	591421.3611	337	
INETER	581851.3	1343234	1343234	581851.3	336	
Estadio de Football Kranshow	577995.571	1343111.181	1343111.181	577995.571	333	
Terreno Cigeo Lab	579276	1338757	1338757	579276	333	
Quinta Nina	581258	1343562	1343562	581258	331	
Br. Georgino Adrade	584050	1341819	1341819	584050	325	
Las Torres	582143.7	1343963	1343963	582143.7	321	
Americas1	584759.8	1341366	1341366	584759.8	311	
Pista Suburbana	575866	1338223	1338223	575866	306	
Bo. C.M	586247.5452	1341719	1341719	586247.5452	305	
Las Colinas	1338177.081	294	1338177.081	294		
ESSO REFINERY (SWM1)	574084	1343097	1343097	574084	289	
Res. Brisas	594152	1343705	1343705	594152	275	
Villa Don Bosco	582499	1340876	1340876	582499	272	
Teatro Ruben Dario (SWM3)	579116	1344107	1344107	579116	268	
CNIA	592669.3	1341650	1341650	592669.3	265	
Repto Sr. Juan	579301	1339296	1339296	579301	246	
N.A.A.C.S	590689.3	1343001	1343001	590689.3	234	
Escuela Pierre y Marre Currie	584805	1336420	1336420	584805	232	
Refinería ESSO	574829.5522	1344209	1344209	574829.5522	230	
UNAN-Managua	579304.8484	1338894.969	1338894.969	579304.8484	229	
Col. Xol_ENACAL	584924.6	1345018	1345018	584924.6	208	

14.5 Mapa de periodos de vibración de los suelos de Managua.

Mapa de Periodos para la Ciudad de Managua.



Página intencionalmente en blanco



El Reglamento Nacional de la Construcción **RNC-07** que promulgó el MTI en el año 2007, sirvió de base y referencia al proceso de actualización y formulación de la Norma Sismorresistente para la ciudad de Managua en los títulos siguientes: I-DISPOSICIONES GENERALES, II-NORMAS MÍNIMAS PARA DETERMINAR CARGAS DEBIDAS A SISMO, III-DISPOSICIONES DIVERSAS, IX-NORMAS TÉCNICAS PARA REALIZAR ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA y LOS ANEXOS A-TABLAS DE CARGAS MUERTAS MÍNIMAS, B-FACTORES Q SEGÚN EL TIPO DE SISTEMA ESTRUCTURAL, C-ISOACELERACIONES Y D-EJEMPLOS DE APLICACIÓN.

La **NORMA SISMORRESISTENTE PARA LA CIUDAD DE MANAGUA**, es el producto de un profundo y amplio proceso de estudios de campo en 18 sitios de la ciudad, para calcular la aceleración del suelo y obtener un espectro de diseño seguro en la capital. Posteriormente, realizamos un intenso proceso de consultas con la comunidad de ingenieros y arquitectos, universidades, asociaciones gremiales e instituciones públicas del Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN) dedicadas al diseño y construcción de estructuras. Al final, se efectuaron dos presentaciones técnicas donde participaron más de treientos ingenieros civiles y arquitectos, cuyos valiosos aportes están considerados e incorporados en este documento.

La actualización de la presente Norma fue realizada por la Dirección General de Normas de la Construcción y Desarrollo Urbano del Ministerio de Transporte e Infraestructura gracias al apoyo de la Agencia Andaluza de Cooperación Internacional para el Desarrollo AACID.



Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional

El Pueblo, Presidente!



JUNTA DE ANDALUCÍA

PROGRAMA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL