

NEC

NORMA ECUATORIANA
DE LA CONSTRUCCIÓN

PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE



Econ. Diego Aulestia Valencia
Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda

Econ. Luis Felipe Guevara Urquiza
Subsecretario de Hábitat y Asentamientos Humanos

Arq. Rubén Darío Paredes Cortez
Subsecretario de Vivienda

Arq. Jose Antonio Toral Valdivieso
Director de Hábitat y Asentamientos Humanos

Arq. Jose Antonio Martín Erquicia
Coordinador de proyecto

Textos:

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)
Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON)

Producción Editorial:

Dirección de Comunicación Social, MIDUVI

Diciembre 2014

ISBN:0000000000

■ Prólogo

Al Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, ente rector de las políticas de hábitat y vivienda a nivel nacional, le corresponde formular la normativa que propicie el desarrollo ordenado y seguro de los Asentamientos Humanos, la densificación de las ciudades y el acceso a la vivienda digna.



Bajo ese marco, y considerando además que nuestro país está localizado en una zona calificada de alto riesgo sísmico, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda llevó a cabo un proceso de actualización de la Normativa Técnica referente a la Seguridad Estructural de las Edificaciones (Código Ecuatoriano de la Construcción de 2001). Esta labor fue realizada en conjunto con la Cámara de la Industria de la Construcción, entidad que coordinó el desarrollo de varios documentos normativos a través de comités de expertos de entidades públicas, del sector privado y representantes de instituciones académicas. Se realizaron talleres de trabajo con los profesionales del sector y se aplicaron las mejores prácticas internacionales en el ámbito de la edificación.

El objetivo fue determinar nuevas normas de construcción de acuerdo a los avances tecnológicos a fin de mejorar los mecanismos de control en los procesos constructivos, definir principios mínimos de diseño y montaje en obra, velar por el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad, y fijar responsabilidades, obligaciones y derechos de los actores involucrados en los procesos de edificación.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción pretende dar respuesta a la demanda de la sociedad en cuanto a la mejora de la calidad y la seguridad de las edificaciones, persiguiendo a su vez, proteger al ciudadano y fomentar un desarrollo urbano sostenible

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Diego Aulestia Valencia', written over a horizontal line.

Econ. Diego Aulestia Valencia
Ministro de Desarrollo Urbano y Vivienda

TABLA DE DATOS

NOMBRE DEL DOCUMENTO HABILITANTE	FECHA
Expedición mediante Acuerdo Ministerial Nro. 0028	19 de agosto de 2014
MIDUVI, Registro Oficial, Año II, Nro. 319	26 de agosto de 2014
Actualización mediante Acuerdo Ministerial Nro. 0047	15 de diciembre de 2014
MIDUVI, Registro Oficial, Año II, Nro. 413	10 de enero de 2015

LISTADO DE PERSONAS Y ENTIDADES PARTICIPANTES

INSTITUCIÓN	NOMBRE
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Ing. José Vicente Chiluisa Ochoa
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Arq. Francesca Blanc
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Ab. Jonathan Santiago Gómez Pumagualle
Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda	Arq. Jose David Saura Gonzalez
Cámara de la Industria de la Construcción	Ing. Hermel Flores Maldonado
Cámara de la Industria de la Construcción	Ing. Ginno Manciatì Jaramillo
Colegio de Ingenieros Mecánicos de Pichincha	Ing. Carlos Baldeón Valencia
Escuela Politécnica Nacional	Ing. Sigifredo Décimo Díaz Mendoza
Escuela Politécnica Nacional	Ing. Patricio Honorato Placencia Andrade
Escuela Politécnica Nacional	Arq. Félix Policarpo Vaca Moncayo
Escuela Politécnica Nacional	Ing. Hugo Alfonso Yépes Arosteguí
Universidad San Francisco de Quito	Ing. Telmo Andrés Sánchez Graunauer
Universidad San Francisco de Quito	Dr. Fabricio Oswaldo Yépez Moya
Pontificia Universidad Católica del Ecuador	Ing. Oswaldo Marcelo Guerra Avendaño
Pontificia Universidad Católica del Ecuador	Ing. Guillermo Ricardo Realpe Rivadeneira
Universidad Central del Ecuador	Msc. Ing. Hernán Estupiñan Maldonado
American Concrete Institute	Ing. Juan Carlos Garcés P.
FRACTALES Cia. Ltda.	Dr. Vinicio Andrés Suárez Chacón
GEOESTUDIOS S.A.	Dr. Xavier Fernando Vera Graunauer
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Ing. José Andrés Vallejo Bermeo
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Ing. Michael Joseph Maks Davis
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Ing. Mathieu Lamour
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Dr. Mauro Pompeyo Niño Lázaro
Cambridge Consultores de Desarrollo S.A.	Dr. Miguel Angel Jaimes Téllez
Consultor Particular	Dr. Pedro Pablo Rojas Cruz
Consultor Particular	Ing. Jaime Enrique García Alvear
Consultor Particular	Ing. Fabián Enrique Espinosa Sarzosa
Consultor Particular	Ing. Jorge Luis Palacios Riofrío
Consultor Particular	Ing. Jorge Enrique Orbe Velalcázar
Consultor Particular	Msc. Ing. Alex Francisco Albuja Espinosa

NEC

NORMA ECUATORIANA
DE LA CONSTRUCCIÓN

PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE

CONTENIDO

Índice de figuras	6
Índice de tablas	7
1. Generalidades	8
1.1. Introducción	8
1.2. Definiciones	8
1.3. Unidades y simbología	14
1.3.1. Unidades	14
1.3.2. Simbología	14
1.4. Contexto normativo	21
1.4.1. Normas ecuatorianas de la construcción	21
1.4.2. Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE- DS de las NECs	22
2. Alcances del capítulo y objetivos de seguridad sísmica	24
2.1. Objetivos y alcances	24
2.1.1. Objetivos	24
2.1.2. Alcances	24
2.1.3. Actores y responsabilidades	24
2.2. Bases del diseño	24
2.3. Memoria de cálculo	25
3. Peligro sísmico del Ecuador y efectos sísmicos locales	27
3.1. Zonas sísmicas y curvas de peligro sísmico	27
3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z	27
3.1.2. Curvas de peligro sísmico	28
3.2. Geología local	29
3.2.1. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico	29
3.2.2. Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s	31
3.3. Componentes horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño	32
3.3.1. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones	32
3.3.2. Espectro elástico de diseño en desplazamientos	36
3.4. Componente vertical del sismo de diseño	37
3.4.1. Aplicabilidad	37
3.4.2. Caso general	37
3.4.3. Estructuras de uso especial o esencial cerca de una falla geológica	37
3.4.4. Elementos que exceden los límites de las plantas de los pisos	37
3.5. Combinación de las fuerzas sísmicas ortogonales y dirección de aplicación	38

3.5.1.	Combinación de las componentes horizontales	38
3.5.2.	Combinación de las componentes horizontales y vertical	38
4.	Metodología del diseño sismoresistente	39
4.1.	Categoría de edificio y coeficiente de importancia I	39
4.2.	Filosofía de diseño sismo resistente	40
4.2.1.	Principios	40
4.2.2.	Límites permisibles de las derivas de los pisos	40
4.2.3.	Síntesis	41
4.3.	Estructuras de ocupación especial y esencial	41
4.3.1.	Generalidades	41
4.3.2.	Niveles de amenaza sísmica	41
4.3.3.	Nivel de las fuerzas sísmicas	41
4.3.4.	Objetivos y niveles de desempeño sísmico	42
4.4.	Requisitos del diseño sismo resistente	42
4.5.	Métodos de diseño	43
4.5.1.	Determinación de las fuerzas sísmicas laterales	43
4.5.2.	Metodologías de diseño sísmico	44
4.5.3.	Sistema elástico equivalente	44
5.	Consideraciones para el pre-diseño y diseño conceptual	46
5.1.	Separación entre estructuras adyacentes	46
5.1.1.	Separación dentro de la misma estructura	46
5.1.2.	Separación entre estructuras adyacentes	46
5.1.3.	Establecimiento de separaciones mínimas entre estructuras	48
5.2.	Regularidad/configuración estructural	48
5.2.1.	Configuración estructural	48
5.2.2.	Regularidad en planta y elevación	49
5.2.3.	Irregularidades y coeficientes de configuración estructural	49
6.	Método 1: diseño basado en fuerzas (DBF)	53
6.1.	Requisitos generales	53
6.1.1.	Condiciones de aplicación	53
6.1.2.	Objetivos generales y requisitos	53
6.1.3.	Límites del DBF	53
6.1.4.	Requisito R_{DBF} : Fuerzas internas (solicitaciones mecánicas)	53
6.1.5.	Requisito D_{DBF} : derivas de piso	54
6.1.6.	Modelación estructural	54
6.1.7.	Carga sísmica reactiva W	55
6.2.	Métodos de análisis para el DBF	56
6.2.1.	Procedimiento estático	56
6.2.2.	Procedimientos dinámicos de cálculo de las fuerzas sísmicas	56
6.3.	Procedimiento de cálculo del DBF	60

3.5.1.	Combinación de las componentes horizontales	38
3.5.2.	Combinación de las componentes horizontales y vertical	38
4.	Metodología del diseño sismoresistente	39
4.1.	Categoría de edificio y coeficiente de importancia I	39
4.2.	Filosofía de diseño sismo resistente	40
4.2.1.	Principios	40
4.2.2.	Límites permisibles de las derivas de los pisos	40
4.2.3.	Síntesis	41
4.3.	Estructuras de ocupación especial y esencial	41
4.3.1.	Generalidades	41
4.3.2.	Niveles de amenaza sísmica	41
4.3.3.	Nivel de las fuerzas sísmicas	41
4.3.4.	Objetivos y niveles de desempeño sísmico	42
4.4.	Requisitos del diseño sismo resistente	42
4.5.	Métodos de diseño	43
4.5.1.	Determinación de las fuerzas sísmicas laterales	43
4.5.2.	Metodologías de diseño sísmico	44
4.5.3.	Sistema elástico equivalente	44
5.	Consideraciones para el pre-diseño y diseño conceptual	46
5.1.	Separación entre estructuras adyacentes	46
5.1.1.	Separación dentro de la misma estructura	46
5.1.2.	Separación entre estructuras adyacentes	46
5.1.3.	Establecimiento de separaciones mínimas entre estructuras	48
5.2.	Regularidad/configuración estructural	48
5.2.1.	Configuración estructural	48
5.2.2.	Regularidad en planta y elevación	49
5.2.3.	Irregularidades y coeficientes de configuración estructural	49
6.	Método 1: diseño basado en fuerzas (DBF)	53
6.1.	Requisitos generales	53
6.1.1.	Condiciones de aplicación	53
6.1.2.	Objetivos generales y requisitos	53
6.1.3.	Límites del DBF	53
6.1.4.	Requisito R_{DBF} : Fuerzas internas (solicitaciones mecánicas)	53
6.1.5.	Requisito D_{DBF} : derivas de piso	54
6.1.6.	Modelación estructural	54
6.1.7.	Carga sísmica reactiva W	55
6.2.	Métodos de análisis para el DBF	56
6.2.1.	Procedimiento estático	56
6.2.2.	Procedimientos dinámicos de cálculo de las fuerzas sísmicas	56
6.3.	Procedimiento de cálculo del DBF	60

6.3.1.	Pasos del método	60
6.3.2.	Cortante basal de diseño V	61
6.3.3.	Determinación del período de vibración T	61
6.3.4.	Ductilidad y factor de reducción de resistencia sísmica R.....	63
6.3.5.	Distribución vertical de fuerzas sísmicas laterales	66
6.3.6.	Distribución horizontal del cortante	67
6.3.7.	Momentos torsionales horizontales y torsión accidental	67
6.3.8.	Efectos de segundo orden P- Δ y índice de estabilidad Q_i	67
6.3.9.	Control de la deriva de piso (derivadas inelásticas máximas de piso Δ_M)	69
7.	Método 2: diseño basado en desplazamientos (DBD)	71
7.1.	Introducción	71
7.1.1.	Principios y objetivos del DBD	71
7.1.2.	Condiciones de aplicación	71
7.1.3.	Representación del sismo de diseño DBD	71
7.1.4.	Principio: sistema elástico equivalente en DBD de un grado de libertad	71
7.1.5.	Puntos-claves del DBD	72
7.1.6.	Lógica general y proceso de diseño del DBD	72
7.2.	Criterios y requisitos del DBD	73
7.2.1.	Requisitos generales para la aplicación de DBD	73
7.2.2.	Nivel de desempeño estructural.....	73
7.2.3.	Criterio de desempeño: deformación unitaria máxima	73
7.2.4.	Determinación de los parámetros usados en el DBD	74
7.2.5.	Cortante basal de diseño para el DBD	78
7.2.6.	Vector de fuerzas laterales	79
7.3.	Perfil de desplazamiento de diseño	80
7.3.1.	Edificaciones aporticadas	80
7.3.2.	Edificaciones con muros estructurales	81
8.	Sistemas de control y aislamiento a la base	83
8.1.	Alcance	83
8.2.	Requisitos de diseño generales	83
8.2.1.	Requisito de sistema estructural	83
8.2.2.	Métodos de cálculo	83
8.3.	Requisitos mínimos de diseño de sistemas de aislamiento sísmico.....	83
8.4.	Requisitos de diseño de sistemas de disipación pasiva de energía.....	84
9.	Estructuras diferentes a las de las edificaciones.....	85
9.1.	Introducción	85
9.2.	Estructuras portuarias, puentes y tanques con fondo apoyado.....	85
9.2.1.	Estructuras portuarias	85
9.2.2.	Puentes	85
9.2.3.	Tanques con fondo apoyado.....	85

9.3.	Parámetros	86
9.3.1.	Peso W	86
9.3.2.	Período fundamental T	86
9.3.3.	Límites de deriva	86
9.3.4.	Efectos de interacción	86
9.3.5.	Fuerzas laterales	86
9.3.6.	Distribución de las fuerzas laterales	87
9.3.7.	Factor de reducción de respuesta para estructuras diferentes a las de edificación	87
10.	Apéndices	88
10.1.	Fundamentos del estudio de peligro sísmico	88
10.1.1.	Fundamentación del mapa de zonificación	88
10.1.2.	Establecimiento de los espectros	89
10.2.	Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z	90
10.3.	Mapa de zonas sísmicas y factor Z	109
10.4.	Curvas de peligro sísmico	110
10.4.1.	Región Sierra	110
10.4.2.	Región Costa	115
10.4.3.	Región Oriente	119
10.5.	Procedimientos para caracterización sísmica del sitio	122
10.5.1.	Procedimiento de clasificación	122
10.5.2.	Perfiles de suelo y ensayos geotécnicos	123
10.5.3.	Necesidad (y límites) de estudios de microzonificación sísmica	127
10.5.4.	Requisitos específicos: respuesta dinámica para los suelos de tipo F	128
11.	Apéndice informativo: esquemas conceptuales	131
11.1.1.	Cadena de determinación de la demanda sísmica	131
11.1.2.	Esquema simplificado de cálculo de las fuerzas sísmicas laterales y métodos de análisis de la NEC-SE-DS	131
11.1.3.	Esquema simplificado del DBF	132
11.1.4.	Esquema simplificado del DBD	132
11.2.	Referencias	133

Índice de figuras

Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z	27
Figura 2 : Curvas de peligro sísmico, Nueva Loja.....	29
Figura 3: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	33
Figura 4 : Espectro sísmico elástico de desplazamientos para diseño	36
Figura 5 : Linearización equivalente.....	44
Figura 6 : Linearización equivalente (curva bilineal de la respuesta lateral fuerza/ desplazamientos) 72	
Figura 7: Factor de Reducción de la Demanda Sísmica $R\xi$	77
Figura 8 : Período efectivo de sistema equivalente de un grado de libertad	78
Figura 9. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.....	109
Figura 10 : Curvas de peligro sísmico, Tulcán.....	110
Figura 11 : Curvas de peligro sísmico, Ibarra.....	110
Figura 12 : Curvas de peligro sísmico, Quito.....	111
Figura 13 : Curvas de peligro sísmico, Latacunga.....	111
Figura 14: Curvas de peligro sísmico, Ambato.....	112
Figura 15 : Curvas de peligro sísmico, Riobamba.....	112
Figura 16 : Curvas de peligro sísmico, Guaranda.....	113
Figura 17 : Curvas de peligro sísmico, Azogues.....	113
Figura 18 : Curvas de peligro sísmico, Cuenca.....	114
Figura 19 : Curvas de peligro sísmico, Loja.....	114
Figura 20 : Curvas de peligro sísmico, Esmeraldas.....	115
Figura 21: Curvas de peligro sísmico, Portoviejo.....	115
Figura 22: Curvas de peligro sísmico, Santa Elena.....	116
Figura 23: Curvas de peligro sísmico, Santo Domingo.....	116
Figura 24: Curvas de peligro sísmico, Babahoyo.....	117
Figura 25: Curvas de peligro sísmico, Guayaquil.....	117
Figura 26: Curvas de peligro sísmico, Machala.....	118
Figura 27: Curvas peligro sísmico, Orellana.....	119
Figura 28 : Curvas de peligro sísmico, Tena.....	119
Figura 29 : Curvas de peligro sísmico, Puyo.....	120
Figura 30: Curvas de peligro sísmico, Macas.....	120
Figura 31: Curvas de peligro sísmico, Zamora.....	121
Figura 32: Curvas de peligro sísmico, Nueva Loja.....	121
Figura 33 : Cadena de determinación de la demanda sísmica.....	131
Figura 34 : Esquema simplificado de determinación de las fuerzas sísmicas laterales ys métodos de análisis de la NEC-SE-DS.....	131
Figura 36 : esquema del diseño basado en fuerzas (DBF).....	132
Figura 37 : Esquema del diseño basado en desplazamientos.....	132

Índice de tablas

Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada	27
Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo	30
Tabla 3: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a	31
Tabla 4 : Tipo de suelo y Factores de sitio F_d	31
Tabla 5 : Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s	32
Tabla 6: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura	39
Tabla 7 : Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso	40
Tabla 10: Síntesis de la filosofía de diseño	41
Tabla 9: niveles de amenaza sísmica	41
Tabla 8: Nivel de desempeño estructural para estructuras esenciales y de uso especial	42
Tabla 11 : Configuraciones estructurales recomendadas	48
Tabla 12 : Configuraciones estructurales no recomendadas	49
Tabla 13: Coeficientes de irregularidad en planta	50
Tabla 14 : Coeficientes de irregularidad en elevación	51
Tabla 15: Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles	65
Tabla 16 : Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada	65
Tabla 17 : Límites de deformación unitaria	74
Tabla 18 : Factor de reducción de respuesta R para estructuras diferentes a las de edificación	87
Tabla 19 : Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z	108
Tabla 20: Criterios para clasificar suelos dentro de los perfiles de suelo tipos C, D o E	123

1. Generalidades

1.1. Introducción

En este capítulo de las Normas Ecuatorianas de Construcción, se presentan los requerimientos y metodologías que deben ser aplicados al diseño sismo resistente de edificios principalmente, y en segundo lugar, a otras estructuras; complementadas con normas extranjeras reconocidas.

Este capítulo pone a disposición de los calculistas, diseñadores y profesionales del sector de la construcción, las herramientas de cálculo, basándose en conceptos de Ingeniería Sísmica y que les permiten conocer las hipótesis de cálculo que están adoptando para la toma de decisiones en la etapa de diseño.

Los lineamientos y directrices para la elaboración de la memoria de cálculo se encuentran definidos en la sección [2.3](#).

Este capítulo se constituirá como un documento de permanente actualización, necesario para el cálculo y diseño sismo resistente de estructuras, considerando el potencial sísmico del Ecuador.

1.2. Definiciones

NOTA 1: Las definiciones incluidas en este capítulo deben ser utilizadas literalmente durante todo el proceso de cálculo y diseño sismo resistente, incluyendo la etapa de elaboración de la memoria de cálculo y de los planos estructurales.

NOTA 2: Otras definiciones de elementos o de conceptos de cálculo y diseño sismo resistente que se utilicen y que no estén incluidas en este capítulo, deben corresponder a conceptos técnicos reconocidos en el campo del diseño sísmico por organismos nacionales o internacionales de normalización, institutos o centros de investigación igualmente reconocidos.

ALTURA DE PISO

Es la distancia vertical medida entre el terminado de la losa de piso o de nivel de terreno y el terminado de la losa del nivel inmediatamente superior. En el caso que el nivel inmediatamente superior corresponda a la cubierta de la edificación esta medida se llevará hasta el nivel de enrase de la cubierta cuando esta sea inclinada o hasta al nivel de la impermeabilización o elemento de protección contra la intemperie cuando la cubierta sea plana. En los casos en los cuales la altura de piso medida como se indica anteriormente exceda 6 m, se considerará para efectos de calcular el número de pisos como dos pisos. Se permite que para el primer piso aéreo la altura del piso se mida desde la corona del muro de contención de la edificación nueva contra el paramento que está en la colindancia, cuando éste exista.

ACELEROGRAMAS

Serie temporal o cronológica de valores de aceleración que se han registrado durante un sismo. En el registro se puede notar una aceleración máxima y la duración de la excitación sísmica.

BASE DE LA ESTRUCTURA

Nivel al cual se considera que la acción sísmica actúa sobre la estructura.

COEFICIENTE DE IMPORTANCIA

Coefficiente relativo a las consecuencias de un daño estructural y al tipo de ocupación.

CORTANTE BASAL DE DISEÑO

Fuerza total de diseño por 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

Sumatoria de las fuerzas laterales de todos los pisos superiores al nivel considerado.

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.

DUCTILIDAD GLOBAL

Capacidad de la estructura para deformarse más allá del rango elástico, sin pérdida sustancial de su resistencia y rigidez, ante cargas laterales estáticas o cíclicas o ante la ocurrencia de una acción sísmica

DUCTILIDAD LOCAL

Capacidad de una sección transversal o de un elemento estructural, para deformarse más allá del rango elástico, sin pérdida sustancial de su resistencia y rigidez, ante cargas laterales estáticas o cíclicas o ante la ocurrencia de una acción sísmica

EFECTOS SECUNDARIOS P-Δ

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

ESPECTRO DE RESPUESTA PARA DISEÑO

El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura.

Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño.

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 las de edificación (puentes, tanques, etc.).

ESTRUCTURA DISIPATIVA

Estructura capaz de disipar la energía por un comportamiento histerético dúctil y/o por otros mecanismos.

ESTRUCTURAS ESENCIALES

Son las estructuras que deben permanecer operativas luego de un terremoto para atender emergencias.

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 SÍSMICAS DE DISEÑO

Fuerzas laterales que resultan de distribuir adecuadamente el cortante basal de diseño en toda la estructura, según las especificaciones de esta norma.

HISTÉRESIS

Fenómeno por medio del cual dos, o más, propiedades físicas se relacionan de una manera que depende de la historia de su comportamiento previo. En general hace referencia al comportamiento de los materiales estructurales cuando se ven sometidos a deformaciones o esfuerzos que están fuera del rango lineal, o elástico, de comportamiento. Una gran parte de la energía que es capaz de disipar el material estructural en el rango inelástico de respuesta se asocia con el área comprendida dentro de los ciclos de histéresis.

IMPEDANCIA (SISMICA)

Corresponde al producto de la densidad por la velocidad sísmica, que varía entre las diferentes capas de rocas. La diferencia de impedancia entre las capas de rocas afecta el coeficiente de reflexión.

LICUACIÓN

Fenómeno mediante el cual un depósito de suelo, sea ésta grava, arena, limo o arcillas de baja plasticidad saturadas, pierde gran parte de su resistencia al esfuerzo cortante debido al incremento de presión de poros bajo condiciones de carga no-drenada, sean monotónicas o cíclicas.

MÉTODO DE DISEÑO POR CAPACIDAD

Método de diseño eligiendo ciertos elementos del sistema estructural, diseñados y estudiados en detalle de manera apropiada para asegurar la disipación energética bajo el efecto de deformaciones importantes, mientras todos los otros elementos estructurales resisten suficientemente para que las disposiciones elegidas para disipar las energía estén aseguradas.

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 MAMPOSTERÍA CONFINADA

Mampostería construida rígidamente rodeada en sus cuatro lados por columnas y vigas de hormigón

armado o de mampostería armada no proyectados para que trabajen como pórticos resistentes a flexión.

MURO DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

Muro de cortante de mampostería, reforzado con varillas de acero, que forma parte del sistema estructural y que no necesita de elementos de borde para su confinamiento.

NIVEL DE SEGURIDAD DE VIDA (sismo de diseño)

Proteger la vida de sus ocupantes ante un terremoto de 475 años de período de retorno (de probabilidad anual de excedencia 0.002 en las curvas de peligro sísmico).

Véase también "sismo de diseño".

NIVEL DE PREVENCIÓN DE COLAPSO (sismo extremo)

Impedir el colapso de la estructura ante un terremoto de 2500 años de período de retorno (sismo severo, probabilidad anual de excedencia 0.0004 en las curvas de peligro sísmico).

PELIGROSIDAD SÍSMICA (PELIGRO SÍSMICO)

Probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados.

PERÍODO DE VIBRACIÓN

Es el tiempo que transcurre dentro de un movimiento armónico ondulatorio, o vibratorio, para que el sistema vibratorio vuelva a su posición original considerada luego de un ciclo de oscilación.

PERÍODO DE VIBRACIÓN FUNDAMENTAL

Es el mayor período de vibración de la estructura en la dirección horizontal de interés.

PGA (Peak Ground Acceleration)

Aceleración sísmica máxima en el terreno.

PISO BLANDO

Piso en el cual su rigidez lateral es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso inmediato superior.

PISO DÉBIL

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

PÓRTICO ESPECIAL SISMO RESISTENTE

Estructura formada por columnas y vigas descolgadas del sistema de piso, que resiste cargas verticales y de origen sísmico, en la 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.

PÓRTICO ESPECIAL SISMO RESISTENTE CON DIAGONALES RIGIDIZADORAS

Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos especiales sismo resistentes como

por diagonales estructurales, concéntricas o no, adecuadamente dispuestas espacialmente, 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 SISMO RESISTENTE CON MUROS ESTRUCTURALES (SISTEMAS DUALES)

Sistema resistente de una estructura compuesta tanto por pórticos especiales sismo resistentes como por muros estructurales adecuadamente dispuestos espacialmente, 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 corte basal en cada dirección.

PÓRTICO ESPECIAL SISMO RESISTENTE CON VIGAS BANDA

Estructura compuesta por columnas y losas con vigas bandas (del mismo espesor de la losa) que resisten cargas verticales y de origen sísmico, en la cual tanto el pórtico como la conexión losa-columna son capaces de resistir tales fuerzas y está especialmente diseñada y detallada para presentar un comportamiento estructural dúctil. Para ser aceptable la utilización de la viga banda, ésta debe tener un peralte no menor a 0.25m.

RESISTENCIA LATERAL DEL PISO

Sumatoria de la capacidad a corte de los elementos estructurales verticales del piso.

RESPUESTA ELÁSTICA

Parámetros relacionados con fuerzas y deformaciones determinadas a partir de un análisis elástico, utilizando la representación del sismo de diseño sin reducción, de acuerdo con las especificaciones de la presente norma.

RIGIDEZ LATERAL DE PISO

Sumatoria de las rigideces a corte de los elementos verticales estructurales del piso.

RIGIDEZ EFECTIVA

Proviene de una relación entre período, masa y rigidez para sistemas de un grado de libertad.

SEMI ESPACIO

Se define como aquella profundidad que no ejerce participación en la respuesta dinámica del sitio, cuyo contraste de impedancia es menor o igual que 0.5 ($\alpha \leq 0.5$).

SISMO DE DISEÑO

Evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años (período 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.

SISTEMAS DE CONTROL DE RESPUESTA SÍSMICA

Son sistemas y dispositivos adaptados a las estructuras que, al modificar las características dinámicas de las mismas, controlan y disipan parte de la energía de entrada de un sismo y permiten reducir la respuesta sísmica global de la estructura y mitigar su daño ante sismos severos. Pueden clasificarse en 3 grupos: sistemas de aislamiento sísmico, sistemas de disipación pasiva de energía y sistemas de control activo.

SOBRE RESISTENCIA

La sobre resistencia desarrollada en las rótulas plásticas indica valores de resistencia, por encima de los nominales especificados. Los factores de sobre resistencia tienen en cuenta principalmente las variaciones entre la tensión de fluencia especificada y la real, el endurecimiento por deformación del acero y el aumento de resistencia por confinamiento del hormigón

Z (factor)

El valor de Z de cada zona sísmica representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

ZONAS DISIPATIVAS

Partes predefinidas de una estructura disipativa donde se localiza principalmente la aptitud estructural a disipar energía (también llamadas zonas críticas).

ZONAS SÍSMICAS

El Ecuador se divide en seis zonas sísmicas, caracterizada por el valor del factor de zona Z. Todo el territorio ecuatoriano está catalogado como de amenaza sísmica alta, con excepción del nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia y del litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta.

1.3. Unidades y simbología

1.3.1. Unidades

- Aceleraciones: m^2/s
- Alturas: m
- Áreas: m^2
- Fuerzas y cargas: kN o kN/m^2
- Masas: kg
- Períodos: s
- Peso específico: kg/m^3
- Presión: Pa o N/m^2
- Resistencias: kPa
- Velocidad: m/s

1.3.2. Simbología

Símbolo	Definición
A_B	Área de la edificación en su base
A_{si}	Área mínima de cortante de la sección de un muro estructural i, medida en un plano horizontal, en el primer nivel de la estructura y en la dirección de estudio
A_x	Factor de amplificación
α	Impedancia del semi espacio $\alpha = \rho_s V_s / \rho_0 V_0$
CPT	Ensayo penetrómetro de cono
C_t	Coeficiente que depende del tipo de edificio
C_w	Coeficiente utilizado para la formulación alternativa de C_t (aplicable a estructuras con muros estructurales de hormigón armado o mampostería estructural)
D	carga muerta total de la estructura
DBF	Diseño Basado en Fuerzas
d_c	Suma de los espesores de los distintos estratos de suelos cohesivos localizados dentro de los 30 m superiores del perfil
DBD	Diseño Directo Basado en Desplazamientos

Símbolo	Definición
d_i	Espesor del estrato i , localizado dentro de los 30 m superiores del perfil
d_s	Suma de los espesores de los distintos estratos de suelos no cohesivos localizados dentro de los 30 m superiores del perfil
δ_i	Deflexión elástica del piso i , calculada utilizando las fuerzas laterales f_i
$d_{m\acute{a}x}$	Valor del desplazamiento máximo en el nivel x
d_{prom}	Promedio de desplazamientos de los puntos extremos de la estructura en el nivel x
Δ_d	Desplazamiento característico usado en el DBD
Δ_E	Derivas de piso
Δ_{Ei}	Derivas de piso calculada
Δ_i	Deriva del piso i calculada en el centro de masas del piso
Δ_M	Deriva de piso máxima horizontal inelástico, expresada como fracción de la altura del piso.
Δ_{Mi}	Deriva máxima de cualquier piso
Δ_{Mi+1}	Deriva máxima del piso superior
Δ_{Mup}	Desplazamiento del último piso
Δ_n	Desplazamiento de diseño para un edificio de n pisos
Δ_{vn}	Separación previamente existente entre la estructura vecina y la nueva
Δ_{yi}	Desplazamiento de fluencia en el piso i
Δ_y	Desplazamiento de fluencia
E	Efectos de las fuerzas sísmicas
E_n	Componente horizontal del sismo
E_x	Componente horizontal según el axis x
E_y	Componente horizontal de dirección perpendicular a E_x

Símbolo	Definición
η	Razón entre la aceleración espectral S_a a período estructural $T = 0.1$ s y el PGA para el período de retorno seleccionado. Su valor depende de la región del Ecuador.
h_i, h_x	Altura en metros, medida desde la base, del nivel i o x
h_n	Altura en metros, medida desde la base, del piso más alto del edificio
ξ	Nivel de amortiguamiento viscoso equivalente
ϵ_{su}	Deformación unitaria última del acero de refuerzo
ϵ_y	Deformación unitaria de fluencia del acero de refuerzo
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
f_{cc}	Resistencia a la compresión del hormigón en el núcleo confinado
F_d	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
f_i	Representa cualquier distribución aproximada de las fuerzas laterales en el piso i , de acuerdo con los principios descritos en el presente capítulo, o cualquiera otra distribución racional
F_i	Vector de fuerzas laterales aplicadas en el piso i de la estructura
f_m	Curvatura en la sección de la rótula plástica, correspondiente a los límites de deformación unitaria
f_{P-D}	Factor de mayoración de los efectos de segundo orden
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
F_v	Coefficiente de amplificación de suelo en las zonas de períodos intermedios
F_{rev}	Componente vertical del sismo de diseño (fuerza neta vertical reversible)
F_x	Fuerza lateral aplicada en el piso x de la estructura
f_{yh}	Esfuerzo de fluencia del acero
g	Aceleración o intensidad de la gravedad

Símbolo	Definición
H	Espesor total de los estratos de suelos cohesivos (m)
h_b	Peralte de una viga característica de un pórtico
H_{eff} o H_e	Altura efectiva (define el centroide de las fuerzas inerciales generadas por el primer modo de vibración)
H_{ev}	Altura de la estructura vecina
h_i	Altura del piso i considerada de la estructura
H_i	Para cada nivel de altura
h_n	Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura
H_n	Altura total del edificio
h_{wi}	Altura del muro i medida desde la base
h_x	Altura del piso x de la estructura
I	Coefficiente de importancia
I_g	Inercia no agrietada de la sección transversal al elemento
IP	Índice de Plasticidad. Se obtiene cumpliendo la norma ASTM D 4318
K	Rigidez de un elemento estructural o de la estructura
k	Coefficiente relacionado con el período de vibración de la estructura T
K_{eff} o K_e	Rigidez efectiva
L	Sobrecarga (carga viva)
L_b	Longitud de una viga característica de un pórtico
L_i	Carga viva del piso i
L_p	Longitud de la rótula plástica en la base del muro
L_w	Longitud del muro en su base
L_{wi}	Longitud medida horizontalmente de un muro estructural i en el primer nivel de la estructura y en la dirección de estudio

Símbolo	Definición
L_r	Sobrecarga cubierta (carga viva)
M_{eff} o M_e	Masa efectiva del sistema equivalente de un solo grado de libertad
m_i	Masa del piso i
μ	Demanda por ductilidad
n	Número de pisos de la estructura
N	Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo
N_{60}	Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar (ensayo SPT) para el 60% de la energía teórica, a lo largo de todo el perfil del suelo
N_{ch}	Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar (para los estratos de suelos no cohesivos)
N_i	Número de golpes obtenidos en el ensayo de penetración estándar, realizado in situ de acuerdo con la norma ASTM D 1586, incluyendo corrección por energía N_{60} , correspondiente al estrato i del suelo. El valor de N_i a emplear para obtener el valor medio, no debe exceder de 100
n_w	Número de muros de la edificación diseñados para resistir las fuerzas sísmica en la dirección de estudio
$P-\Delta$	Efectos de segundo orden
PGA	Valor de la aceleración sísmica máxima en el terreno (<i>Peak Ground Acceleration</i>)
P_i	Suma de la carga vertical total sin mayorar, incluyendo el peso muerto y la sobrecarga por carga viva, del piso i y de todos los pisos localizados sobre el piso i
\emptyset_E	Coficiente de regularidad en elevación
\emptyset_{EA}	Mínimo valor \emptyset_{Ei} de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; \emptyset_{Ei} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 1 (5.2)
\emptyset_{EB}	Mínimo valor \emptyset_{Ei} de cada piso i de la estructura, en el caso de irregularidades tipo 1; \emptyset_{Ei} en cada piso se calcula como el mínimo valor expresado por la tabla para la irregularidad tipo 2 y/o 3 (véase sección 5.2)
\emptyset_{Ei}	Coficiente de configuración en elevación
\emptyset_P	Coficiente de regularidad en planta

Símbolo	Definición
\emptyset_{PA}	Mínimo valor \emptyset_{Pi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 1, 2 y/o 3 (véase sección 5.2)
\emptyset_{PB}	Mínimo valor \emptyset_{Pi} de cada piso i de la estructura en el caso de irregularidades tipo 4 (véase sección 5.2)
\emptyset_{Pi}	Coefficiente de configuración en planta
q_c	Resistencia de punta de cono del ensayo CPT
Q_i	Índice de estabilidad del piso i, es la relación entre el momento de segundo orden y el momento de primer orden
r	Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto
R	Factor de reducción de resistencia sísmica
R_d	Resistencia de diseño del elemento considerado
$R\xi$	Factor de reducción de demanda sísmica
$R\Omega$	Factor de sobre resistencia
ρ_0	Densidad del geomaterial del semi espacio
ρ_s	Densidad promedio del suelo que sobreyace al semi espacio
ρ_v	Cuantía volumétrica
S_a o $S_a(T)$	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g), definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual a 5%. Depende del período o modo de vibración de la estructura
S_d o $S_d(T)$	Espectro elástico de diseño de desplazamientos, definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual a 5%. Depende del período o modo de vibración de la estructura
SD1	Corresponde a la aceleración espectral para $T = 1s$, para un período de retorno de 475 años (en el estándar ASCE7-10 de los EEUU)
SM1	Corresponde a la aceleración espectral con para $T = 1s$, para un período de retorno de 2500 años, tomando en cuenta el efecto del suelo de cimentación (en el estándar ASCE7-10 de los EEUU)
SPT	Ensayo de penetración estándar
S_u	Resistencia al corte no drenado

Símbolo	Definición
S_{ui}	Resistencia al corte no drenado del estrato i . Esta resistencia se mide cumpliendo la norma ASTM D 2166 o la norma ASTM D 2850.
T	Período fundamental de vibración de la estructura
T_r	Período de retorno de un sismo
T_{se}	Período elástico del subsuelo
T_0	Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
T_α	Período fundamental de vibración aproximado en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
T_c	Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
T_{eff} o T_e	Período efectivo
T_L	Período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos
θ_T	Deriva de diseño (o deformación unitaria máxima) especificada en la sección 7.2.3
θ_{yn}	Deriva de fluencia del último piso de un edificio
θ_y	Deriva de fluencia
V	Cortante total en la base de la estructura para el DBF
V_0	Velocidad de la onda cortante del geomaterial en el semi espacio
V_{DBD}	Cortante basal utilizado en el DBD; corresponde a la resistencia requerida por la estructura cuando se alcanza el desplazamiento meta
V_E	Cortante basal elástico
V_i	Cortante sísmico del piso i
V_s	Velocidad de onda cortante promedio del suelo que sobreyace al semi espacio
V_{s30}	Velocidad media de la onda de cortante
V_{si}	Velocidad media de la onda de cortante del suelo del estrato i , medida en campo

Símbolo	Definición
V_x	Cortante total en el piso x de la estructura
w	Contenido de agua en porcentaje (en la clasificación de los estratos de arcilla se determina por medio de la norma ASTM D 2166)
W	Carga sísmica reactiva
w_i	Peso aginado al piso o nivel i de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W (incluye la fracción de la carga viva correspondiente) peso: w / cargas: W
W_p	Peso que actúa en el voladizo
E_v	Componente vertical del sismo
w_x	Peso aginado al piso o nivel x de la estructura, siendo una fracción de la carga reactiva W (incluye la fracción de la carga viva correspondiente, según 6.1.7)
ω_θ	Factor de amplificación dinámica de derivas
z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

1.4. Contexto normativo

1.4.1. Normas ecuatorianas de la construcción

- [NEC-SE-CG](#): Cargas (no sísmicas)
- [NEC-SE-DS](#): Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente
- [NEC-SE-RE](#): Riesgo sísmico, Evaluación, Rehabilitación de estructuras
- [NEC-SE-GM](#): Geotecnia y Diseño de Cimentaciones
- [NEC-SE-HM](#): Estructuras de Hormigón Armado
- [NEC-SE-AC](#): Estructuras de Acero
- [NEC-SE-MP](#): Estructuras de Mampostería Estructural
- [NEC-SE-MD](#): Estructuras de Madera
- [NEC-SE-VIVIENDA](#): Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5m

1.4.2. Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE- DS de las NECs

Abreviación	Nombre y detalles	Sección
<u>ASCE7-10</u>	Minimum Design Loads for Buildings and other Structures (Standard ASCE/SEI-7-10) (American Society of Civil Engineers, 2010)	<u>10.1.2</u>
<u>ASTM D 2166</u>	Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil (American society for testing and material)	<u>10.5.2</u>
<u>ASTM D 2850</u>	Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils (American society for testing and material)	<u>10.5.2</u>
<u>ASTM D 4318</u>	Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils (American society for testing and material)	<u>10.5.2</u>
<u>ASTM D5777</u>	Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation (American society for testing and material)	<u>10.5.2</u> <u>10.5.4</u>
<u>Guías ATC-33</u> <u>ASCE/SEI 41-06</u> Documentos <u>VISION 2000</u> Guía <u>NEHRP</u>	Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings (ATC-33 project) (Applied Technology Council, 1992) Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (American Society of Civil Engineers, 2006) SEAOC, Structural Engineers Association of California (1995) National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP)	<u>4.3.1</u>
Capítulos 13 y 15 del NEHRP/ <u>FEMA450</u>	Building Seismic Safety Council BSSC (2004), "NEHRP: Recommended Provisions and Commentary for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures" (Federal Emergency Management Agency)	<u>4.5.2</u> <u>8</u>
<u>ASCE-7-10</u> <u>NSR-10</u>	<ul style="list-style-type: none"> • Véase <u>10.1.2</u> • Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 	<u>6.3.4</u>
<u>ATC-40</u> <u>FEMA 440</u>	Para la evaluación de estructuras existentes: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (Applied Technology Council, 1996) Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures	<u>7.1.4</u>
Capítulos 13 y 15 del <u>BSSC</u>	Véase <u>4.5.2</u>	<u>8</u>

Abreviación	Nombre y detalles	Sección
<p>Guías de diseño sísmico para estructuras portuarias del PIANC</p>	<p>Estructuras portuarias: especificaciones del <i>Permanent International Association for Navigation Congresses</i> (PIANC) para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • objetivos de desempeño • nivel de amenaza sísmica (probabilidad de excedencia o período de retorno) • niveles de desempeño estructural (estados límites) 	<p>9.2.1</p>
<p>AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design</p>	<p>Puentes: especificaciones del American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • objetivos de desempeño • nivel de amenaza sísmica (probabilidad de excedencia o período de retorno) • niveles de desempeño estructural (estados límites) 	<p>9.2.2</p>
<p>ASCE 7-10 NSR-10</p>	<p>Para el estudio de las formas espectrales elásticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Véase 10.1.2 • Véase 6.3.4 	<p>10.1.2</p>

2. Alcances del capítulo y objetivos de seguridad sísmica

2.1. Objetivos y alcances

2.1.1. Objetivos

El objetivo de este capítulo es reducir el riesgo sísmico a niveles aceptables para el contexto ecuatoriano.

El riesgo sísmico tiene que ver con el peligro sísmico descrito para todo el territorio nacional en la sección [3.1](#) y con la vulnerabilidad de las edificaciones que se reducirá con la aplicación obligatoria de criterios y métodos de diseño especificados en la sección 4 .

2.1.2. Alcances

El capítulo establece un conjunto de requisitos mínimos, para el diseño de estructuras de edificación que están sujetas a los efectos de terremotos que podrían presentarse en algún momento de su vida útil.

Para el caso de estructuras distintas a las de edificación, tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, presas, tuberías, etc., cuyo comportamiento dinámico es distinto al de las estructuras de edificación, se deben aplicar consideraciones adicionales especiales que complementen los requisitos mínimos que constan en el presente documento.

2.1.3. Actores y responsabilidades

Los requisitos establecidos en este capítulo son de cumplimiento obligatorio a nivel nacional, por lo tanto, todos los profesionales, empresas e instituciones públicas y privadas tienen la obligación de cumplir y hacer cumplir los requisitos mínimos aquí establecidos.

2.2. Bases del diseño

Se recuerda que la respuesta de una edificación a solicitaciones sísmica del suelo se caracteriza por aceleraciones, velocidades y desplazamientos de sus elementos, en particular de los pisos en el caso de edificios.

Se aplicará la filosofía de diseño basada en desempeño (véase sección [4.2](#)).

Los requisitos presentados se basan en el comportamiento elástico lineal y no lineal de estructuras de edificación.

Los procedimientos y requisitos descritos en este capítulo se determinan considerando:

- La zona sísmica del Ecuador donde se va a construir la estructura: el factor de zona **Z** correspondiente (véase sección [3.1.2](#)) y las curvas de peligro sísmico (véase en las secciones [3.1.2](#) y [10.3](#))
- Las características del suelo del sitio de emplazamiento (véase sección [3.2](#))
- El tipo de uso, destino e importancia de la estructura (coeficiente de importancia **I**: véase sección [4.1](#))

- Las estructuras de **uso normal** deberán diseñarse para una resistencia tal que puedan soportar los **desplazamientos laterales** inducidos por el sismo de diseño, considerando la respuesta inelástica, la redundancia, la sobre resistencia estructural inherente y la ductilidad de la estructura.
- Para las estructuras de **ocupación especial y edificaciones esenciales**, además de los requisitos aplicables a las estructuras de uso normal, se aplicarán verificaciones de **comportamiento inelástico para diferentes niveles de terremotos**. Mas detalles se encontrarán en la sección [4.3](#).
- La resistencia mínima de diseño para todas las estructuras deberá basarse en las fuerzas sísmicas de diseño establecidas en el presente capítulo:
 - El nivel de desempeño sísmico (Véase sección [4.3.2](#))
 - El tipo de sistema y configuración estructural a utilizarse (Véase sección [5.2](#))
 - Los métodos de análisis a ser empleados (Véase secciones [6](#) y [7](#))

El objetivo de desempeño de la filosofía de diseño basada en desempeño busca evitar la pérdida de vidas a través de impedir el colapso de todo tipo de estructura. Se añade el objetivo de protección en mayor medida y de garantía de funcionalidad luego de un evento sísmico extremo (véase sección [4.3.1](#)) para las estructuras de ocupación especial y esencial.

Sin embargo, las actuales tendencias en el mundo se dirigen no sólo a la protección de la vida, sino también a la protección de la propiedad y a la búsqueda del cumplimiento de diversos niveles de desempeño sísmico, para cualquier tipo de estructura.

Se consideraran los siguientes niveles de frecuencia y amenaza sísmica (véase sección [4.3.1](#)):

- Frecuente (menor)
- Ocasional (moderado)
- Raro (severo): sismo de diseño (período de retorno de 475 años)
- Muy raro (extremo): período de retorno de 2500 años (véase específicamente la sección [4.2](#)). Se utilizará para estructuras esenciales y de ocupación especial, tal como expuesto en la sección [4.3](#).

2.3. Memoria de cálculo

La **memoria de cálculo** que el diseñador debe adjuntar a los planos estructurales incluirá una descripción de:

- los materiales a utilizarse y sus especificaciones técnicas,
- el sistema estructural escogido,
- el tipo, características y parámetros mecánicos de suelo de cimentación considerado (estipulado en la memoria del estudio geotécnico),
- el tipo y nivel de cargas seleccionadas, bien como sus combinaciones,
- los parámetros utilizados para definir las fuerzas sísmicas de diseño,

- el espectro de diseño o cualquier otro método de definición de la acción sísmica utilizada,
- los desplazamientos y derivas máximas que presente la estructura.

La memoria de cálculo se acompañará del **estudio geotécnico**, el cual contendrá como mínimo:

- una descripción de la exploración geotécnica,
- los resultados de los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos,
- la caracterización geotécnica del subsuelo,
- los análisis de los estados límite de falla,
- su capacidad de carga,
- los asentamientos estimados de la cimentación seleccionada durante su vida útil, tanto ante cargas permanentes como accidentales.

Adicionalmente, la memoria debe incluir:

- Una descripción de la revisión del comportamiento inelástico, acorde con la filosofía descrita en la sección [4.2](#), bien con la utilización de criterios de diseño por capacidad de elementos estructurales y sus conexiones o mediante la verificación del correcto desempeño de la estructura en el rango inelástico, al ser sometida a los niveles de eventos sísmicos especificados en este documento.
- La verificación del correcto desempeño en el rango inelástico ante eventos sísmicos severos es indispensable para estructuras de ocupación especial y esencial, con los requisitos definidos en la sección [4.3.2](#) de esta norma.

3. Peligro sísmico del Ecuador y efectos sísmicos locales

3.1. Zonas sísmicas y curvas de peligro sísmico

3.1.1. Zonificación sísmica y factor de zona Z

Para los edificios de uso normal, se usa el valor de Z, que representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

El sitio donde se construirá la estructura determinará una de las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del factor de zona Z, de acuerdo el mapa de la [Figura 1](#).

Para informaciones complementarias, véase también los apéndices [10.1](#) y [10.3](#).

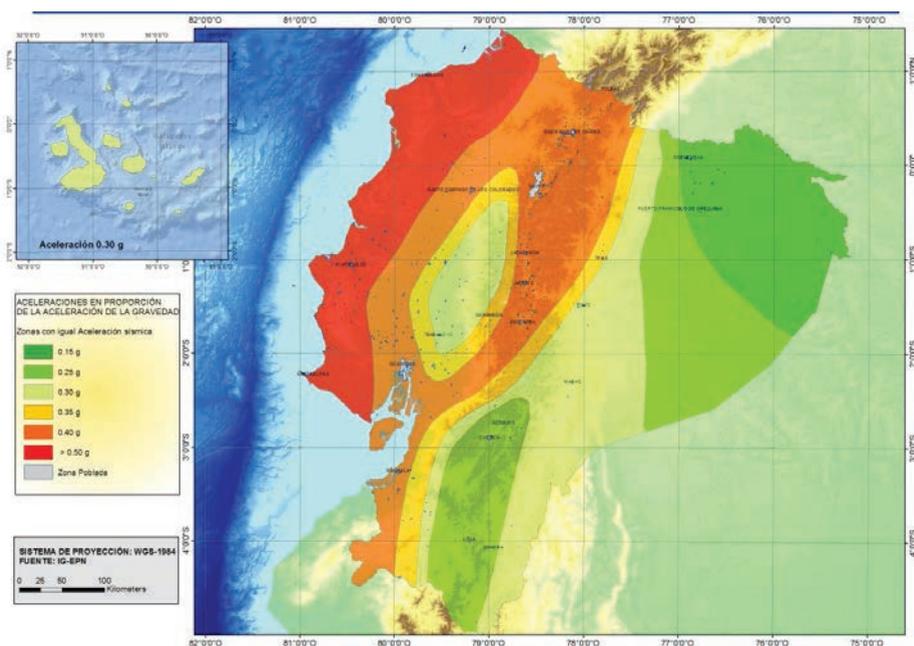


Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado del estudio de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano que caracteriza la zona VI.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 1. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada

Todo el territorio ecuatoriano está catalogado como de amenaza sísmica alta, con excepción del:

- Nororiente que presenta una amenaza sísmica intermedia,
- Litoral ecuatoriano que presenta una amenaza sísmica muy alta.

Determinación

- Para facilitar la determinación del valor de Z, en la [Tabla 19](#): Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z de la sección [10.2](#) se incluye un listado de algunas poblaciones del país con el valor correspondiente.
- Si se ha de diseñar una estructura en una población o zona que no consta en la lista y que se dificulte la caracterización de la zona en la que se encuentra utilizando el mapa (véase [Figura 1](#)), debe escogerse el valor de la población más cercana.

3.1.2. Curvas de peligro sísmico

Para el diseño de estructuras de ocupación especial, estructuras esenciales, puentes, obras portuarias y otras estructuras diferentes a las de edificación; es necesario utilizar diferentes niveles de peligro sísmico con el fin de verificar el cumplimiento de diferentes niveles de desempeño, de acuerdo con lo estipulado en la sección [4.3.2](#).

Para definir los diferentes niveles de aceleración sísmica esperada en roca, se proporcionan en las curvas de peligro sísmico probabilista para cada capital de provincia, en donde se relaciona el valor de la aceleración sísmica en el terreno (PGA) con un nivel de probabilidad anual de excedencia. ([Figura 10](#) a [Figura 32](#) del apéndice [10.3](#)).

El periodo de retorno correspondiente es el inverso de la probabilidad anual de excedencia. En cada figura se incluye también las curvas de aceleraciones máximas espectrales para períodos estructurales de 0.1, 0.2, 0.5 y 1.0 segundos.

En los apéndices se encuentran las curvas de peligro sísmico correspondientes a las capitales de provincia, proporcionando las aceleraciones máximas esperadas en el terreno (PGA) y aceleraciones máximas espectrales para diferentes niveles de probabilidad anual de excedencia, tal como en el siguiente ejemplo:

Curvas de Peligro Sísmico para NUEVA LOJA (0.09, -76.89) a diferentes Periodos Estructurales

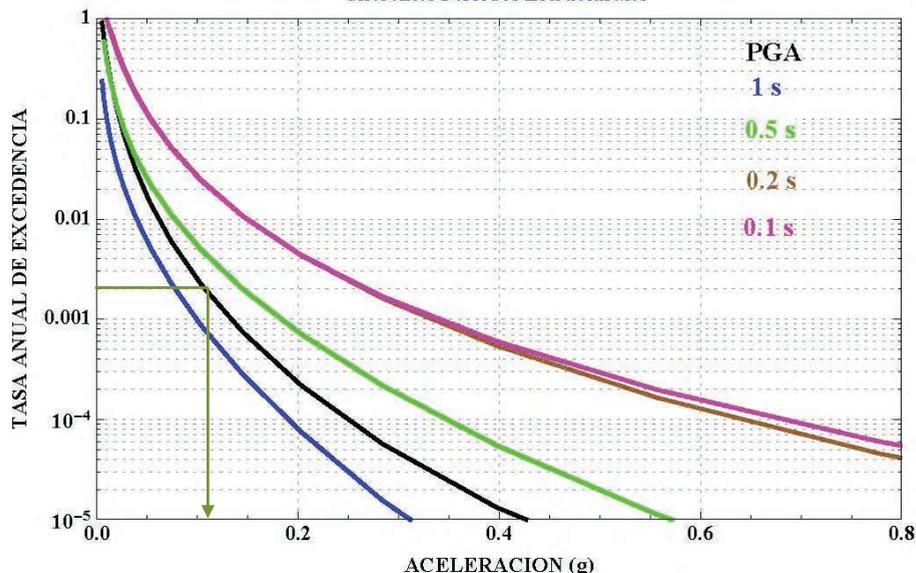


Figura 2 : Curvas de peligro sísmico, Nueva Loja.

Se encuentran informaciones complementarias sobre los estudios de microzonificación sísmica en el apéndice [10.5.3](#).

3.2. Geología local

3.2.1. Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico

Se definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la [Tabla 2](#).

Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m 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 30 m superiores del perfil.

Para el perfil tipo F se aplican otros criterios, como los expuestos en la sección [10.5.4](#) y la respuesta no debe limitarse a los 30 m superiores del perfil en los casos de perfiles con espesor de suelo significativo.

Tipo perfil	de Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s

Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad IP > 75)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo

Se encuentran informaciones complementarias para determinar los perfiles del suelo y realizar ensayos geotécnicos en el apéndice [10.5.2](#).

3.2.2. Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s

Nota: Para los suelos tipo F no se proporcionan valores de F_a , F_d ni de F_s , debido a que requieren un estudio especial, conforme lo estipula la sección [10.5.4](#)

a. F_a : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto.

En la [Tabla 3](#) se presentan los valores del coeficiente F_a que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tabla 3: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

b. F_d : amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca

En la [Tabla 4](#) se presentan los valores del coeficiente F_d que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 4 : Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

c. F_s : comportamiento no lineal de los suelos

En la [Tabla 5](#) se presentan los valores del coeficiente F_s , que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 5 : Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

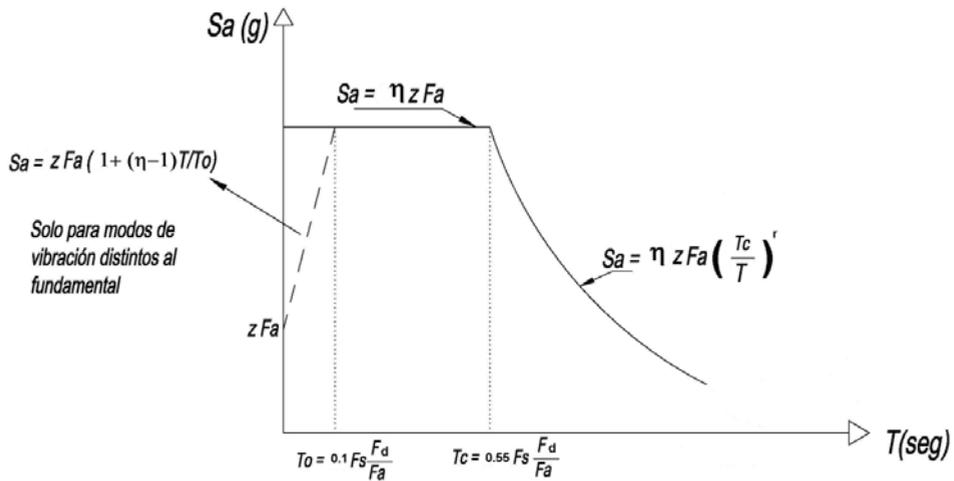
Nota: Para poblaciones con más de 100000 habitantes (que deberían disponer de estudios de microzonificación sísmica y geotécnica en su territorio) y sitios con suelo de tipo F, se realizará espectro de respuesta elástico de aceleraciones específico al sitio, basado en la geología, tectónica, sismología y características del suelo local. El espectro debe desarrollarse para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico de 5,00%, a menos que la utilización de otros valores sea consistente con el comportamiento estructural previsto y con la intensidad del sismo establecida para el sitio.

3.3. Componentes horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño

3.3.1. Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a , expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, se proporciona en la [Figura 3](#), consistente con:

- el factor de zona sísmica Z ,
- el tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura,
- la consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F_a , F_d , F_s .



Dónde:

- η Razón entre la aceleración espectral $S_a (T = 0.1 \text{ s})$ y el PGA para el período de retorno seleccionado.
- F_a Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
- F_d Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
- F_s Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
- S_a Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura
- T Período fundamental de vibración de la estructura
- T_0 Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
- T_c Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
- Z Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Figura 3: Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

Dicho espectro, que obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 5%, se obtiene mediante las siguientes ecuaciones, válidas para períodos de vibración estructural T pertenecientes a 2 rangos:

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \leq T_C$$

$$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para } T > T_C$$

Dónde:

- η** Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
- r** Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto
- $r = 1$ para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E
- $r = 1.5$ para tipo de suelo E.
- S_a** Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura
- T** Período fundamental de vibración de la estructura
- T_C** Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
- Z** Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Asimismo, de los análisis de las ordenadas de los espectros de peligro uniforme en roca para el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (período de retorno 475 años), que se obtienen a partir de los valores de aceleraciones espectrales proporcionados por las curvas de peligro sísmico de la sección [3.1.2](#) y, normalizándolos para la aceleración máxima en el terreno Z , se definieron los valores de la relación de amplificación espectral, η (S_a/Z , en roca), que varían dependiendo de la región del Ecuador, adoptando los siguientes valores:

- $\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
- $\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta = 2.60$: Provincias del Oriente

Los límites para el período de vibración T_C y T_L (éste último a ser utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos definido en la sección [3.3.2](#) se obtienen de las siguientes expresiones:

$$T_C = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_L = 2.4 \cdot F_d$$

Dónde:

- F_a** Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
- F_d** Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio

F_s	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
T_c	Es el período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
T_L	Es el período límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos

NOTA: para los perfiles de suelo tipo D y E, los valores de T_L se limitarán a un valor máximo de 4 segundos.

Para análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental, el valor de **S_a** debe evaluarse mediante la siguiente expresión, para valores de período de vibración menores a **T₀**:

$$\mathbf{S}_a = ZF_a \left[1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0} \right] \text{ para } T \leq T_0$$

$$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Dónde:

η	Razón entre la aceleración espectral S _a (T = 0.1 s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_d	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
S_a	Es el espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura.
T	Período fundamental de vibración de la estructura
T₀	Es el período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Si de estudios de microzonificación sísmica realizados para una región determinada del país, conforme lo estipulado en la sección [10.5.3](#), se establecen valores de **F_a**, **F_d**, **F_s** y de **S_a** diferentes a los establecidos en esta sección, se podrán utilizar los valores de los mencionados estudios.

Para el análisis de modos superiores al fundamental, se deberá considerar el ramal izquierdo del espectro en la zona de períodos cortos.

Para determinar el espectro elástico para diferentes períodos de retorno, siempre que el valor de PGA obtenido a partir de las curvas de amenaza para el sitio del emplazamiento y para el período de retorno considerado se encuentre en el rango entre 0.15 g y 0.50 g, se podrá estimar dicho espectro mediante el procedimiento descrito a principio de esta sección, utilizando los valores de los coeficientes F_a , F_s y F_d obtenidos mediante una interpolación lineal a partir de los valores discretos de las tablas en la sección [3.2.2](#), considerando en este caso PGA igual a Z .

El valor de η es la razón entre la aceleración espectral S_a a período estructural $T = 0.1$ s y el PGA para el período de retorno seleccionado.

Para el establecimiento del espectro mencionado y de sus límites, se consideraron los criterios indicados en el apéndice [10.1.2](#).

3.3.2. Espectro elástico de diseño en desplazamientos

Para la definición de los desplazamientos espectrales elásticos para diseño, correspondiente al nivel del sismo de diseño, se utilizará el siguiente espectro elástico de diseño de desplazamientos S_d (en metros) definido a partir del espectro de aceleraciones, mediante la siguiente fórmula:

$$S_d = S_a(g) \cdot (T/2\pi)^2 \quad \text{para} \quad 0 \leq T \leq T_L$$

$$S_d = S_a(g) \cdot (T_L/2\pi)^2 \quad \text{para} \quad T > T_L$$

Dónde:

g Aceleración de la gravedad

S_d Es el espectro elástico de diseño de desplazamientos (definido para una fracción del amortiguamiento respecto al crítico igual a 5%). Depende del período o modo de vibración de la estructura

Donde los valores de los períodos límite T_0 , T_c y T_L son los mismos que fueran definidos para el espectro elástico de aceleraciones en la sección [3.3.1](#).

Nota: no obstante, para los perfiles de suelo tipo D y E, los valores de T_L se limitarán a un valor máximo de 4 segundos en los espectros de desplazamientos.

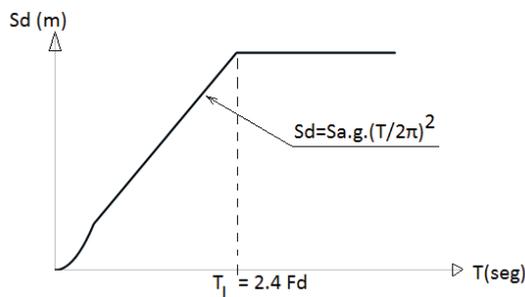


Figura 4 : Espectro sísmico elástico de desplazamientos para diseño

Dónde:

F_d Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio

S_a Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad)

g). Depende del período o modo de vibración de la estructura

T Período fundamental de vibración de la estructura

3.4. Componente vertical del sismo de diseño

3.4.1. Aplicabilidad

Se deberá incorporar la componente vertical del sismo para elementos que exceden los límites de las plantas de los pisos

3.4.2. Caso general

La componente vertical E_v del sismo puede definirse mediante el escalamiento de la componente horizontal de la aceleración por un factor mínimo de 2/3.

$$E_v \geq \frac{2}{3} E_h$$

Dónde:

E_v Componente vertical del sismo

E_h Componente horizontal del sismo

3.4.3. Estructuras de uso especial o esencial cerca de una falla geológica

Para estructuras esenciales o especiales que se encuentren en el campo cercano (0–10 km) de una falla superficial, no se podrá utilizar la formula anterior (véase la sección [3.4.1](#)).

En este caso, se deberá evaluar la componente vertical del sismo mediante el estudio de respuesta de sitio.

3.4.4. Elementos que exceden los límites de las plantas de los pisos

Cuando existe la presencia de elementos que exceden los límites de las plantas de los pisos, como son los voladizos horizontales, los efectos de la componente vertical de los sismos debe considerarse.

Estos se diseñarán para una fuerza neta vertical reversible F_{rev} expresada por:

$$F_{rev} = \frac{2}{3} I (\eta Z F_a) W_p$$

Dónde:

W_p Peso que actúa en el voladizo.

I Coeficiente de importancia definido en el [4.1](#)

La expresión toma en cuenta que, al menos en el campo no cercano, la acción máxima de la componente vertical se puede estimar como los dos tercios de la acción máxima horizontal y que la rigidez de los voladizos horizontales requeriría utilizar un espectro de diseño plano establecido por el valor de $\eta Z F_a$, que a su vez depende de la región del país donde se ejecutará el proyecto y del tipo de suelo del emplazamiento.

3.5. Combinación de las fuerzas sísmicas ortogonales y dirección de aplicación

3.5.1. Combinación de las componentes horizontales

Las estructuras deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas provenientes de cualquier dirección horizontal. Debe asumirse que las fuerzas sísmicas de diseño actúan de manera no concurrente en la dirección de cada eje principal de la estructura.

Como alternativa, se podrán calcular los efectos ortogonales del siguiente modo:

$$E_h = \mp \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

Dónde:

E Efectos del sismo

E_h Componente horizontal de la fuerza sísmica

E_x Componente horizontal de la fuerza sísmica según el axis x

E_y Componente horizontal de la fuerza sísmica de dirección perpendicular a E_x

3.5.2. Combinación de las componentes horizontales y vertical

Se combinarán las cargas sísmicas horizontales y verticales cuando existen volados o en el caso de edificaciones esencial o de ocupación especial ubicadas en el campo cercano a una falla geológica.

Los efectos **E** del sismo serán representados por la combinación de los 3 componentes de la fuerza sísmica tal como expuesto a seguir:

$$E = E_h + E_v$$

Dónde:

E Efectos del sismo

E_h Componente horizontal de la fuerza sísmica

E_v Componente vertical de la fuerza sísmica

4. Metodología del diseño sismoresistente

4.1. Categoría de edificio y coeficiente de importancia I

NOTA: al determinar las fuerzas a partir de las curvas de peligro sísmico, dichas fuerzas no requieren ser modificadas por el factor de importancia I.

La estructura a construirse se clasificará en una de las categorías que se establecen en la [Tabla 6](#) y se adoptará el correspondiente factor de importancia I.

El propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras, que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño.

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras substancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 6: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

El diseño de las estructuras con factor de importancia 1.0 cumplirá con todos los requisitos establecidos en el presente capítulo de la norma.

Para aquellas estructuras con factor de importancia superior a 1.0, deberán cumplir además con los requisitos estipulados en la sección [4.3](#).

4.2. Filosofía de diseño sismo resistente

4.2.1. Principios

a. Generalidades

La filosofía de diseño permite comprobar el nivel de seguridad de vida. El diseño estructural se hace para el sismo de diseño, evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, equivalente a un período de retorno de 475 años.

b. Caracterización

El sismo de diseño se determina 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 (véase en la sección [3.1.1](#)).

Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden modelarse mediante un espectro de respuesta para diseño, como el proporcionado en la sección [3.3.1](#) de esta norma.

Para caracterizar este evento, puede también utilizarse un grupo de acelerogramas con propiedades dinámicas representativas de los ambientes tectónicos, geológicos y geotécnicos del sitio, conforme lo establece esta norma (véase en la sección [3.2](#)).

c. Requisitos mínimos de diseño

Para estructuras de ocupación normal el objetivo del diseño es:

- Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura.
- Evitar el colapso ante terremotos severos que pueden ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida de sus ocupantes.

Esta filosofía de diseño se consigue diseñando la estructura para que:

- Tenga la capacidad para resistir las fuerzas especificadas por esta norma.
- Presente las derivas de piso, ante dichas cargas, inferiores a las admisibles.
- Pueda disipar energía de deformación inelástica, haciendo uso de las técnicas de diseño por capacidad o mediante la utilización de dispositivos de control sísmico.

4.2.2. Límites permisibles de las derivas de los pisos

La deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecidos en la tabla siguiente, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso:

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Tabla 7 : Valores de Δ_M máximos, expresados como fracción de la altura de piso

4.2.3. Síntesis

La filosofía de diseño sísmo resistente se sintetiza como sigue:

Nivel de desempeño estructural (prevención)	Elementos estructurales	Elementos estructurales no	Tasa anual de excedencia
Servicio	Ningún daño	Ningún daño	0.023
Daño	Ningún daño	Daños	0.01389
Colapso	Cierto grado de daño	Daños considerables	0.00211

Tabla 8: Síntesis de la filosofía de diseño

4.3. Estructuras de ocupación especial y esencial

4.3.1. Generalidades

Las categorías de uso, y coeficientes de importancia I relacionados, son definidos en la sección [4.1](#).

En complemento a lo expuesto en la sección [4.2](#), para estructuras esenciales y de ocupación especial, se requiere la verificación de desempeño de dichas estructuras.

Se deberá limitar los daños estructurales, buscando elevar el nivel de protección y propendiendo a que las estructuras puedan mantenerse operacionales aún después de la ocurrencia del sismo de diseño.

4.3.2. Niveles de amenaza sísmica

La verificación de desempeño se hace para los niveles de amenaza sísmica presentados a seguir.

Se clasifican los sismos según los niveles de peligro y período medio de retorno tal como en la tabla siguiente:

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno T_r (años)	Tasa anual de excedencia ($1/T_r$)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro* (extremo)	2%	2 500	0.00040

Tabla 9: niveles de amenaza sísmica

*véase en la sección [4.3](#).

4.3.3. Nivel de las fuerzas sísmicas

Las estructuras de ocupaciones especiales y esenciales se diseñarán con un nivel de fuerzas sísmicas:

- no menor que las estipuladas en el método estático del DBF expuesto en la sección [6.2.1](#).
- no menor que aquellas que resulten de utilizar la aceleración máxima y las aceleraciones espectrales máximas esperadas en el sitio del emplazamiento de la estructura, obtenidas a partir de las curvas de peligro sísmico de la sección [3.1.2](#) para un período de retorno de 475

años, sin aplicación del factor de importancia I.

Si las estructuras catalogadas como de ocupación especial y estructuras esenciales van a utilizar dispositivos de control sísmico, deberán regirse a lo estipulado en la sección 8.

4.3.4. Objetivos y niveles de desempeño sísmico

a. Estructuras de ocupación especial

Se deberá verificar un correcto desempeño sísmico en el rango inelástico para:

- No-colapso (nivel de prevención de colapso) ante un terremoto de 2500 años de período de retorno (probabilidad anual de excedencia 0.00004).

b. Estructuras esenciales

Para las estructuras esenciales, se deberá verificar un correcto desempeño sísmico en el rango inelástico para:

- Limitación de daño (nivel de seguridad de vida) ante un terremoto de 475 años de período de retorno (probabilidad anual de excedencia 0.00211)
- No-colapso (nivel de prevención de colapso) ante un terremoto de 2500 años de período de retorno (probabilidad anual de excedencia 0.00004).

El efecto de sitio ante este terremoto deberá estudiarse de manera local para los suelos de tipo F (véase el apéndice [10.5.4](#)). La caracterización y el procedimiento de verificación de este nivel de desempeño sísmico se describen en la norma [NEC-SE-RE](#).

c. Síntesis

Nivel de desempeño estructural (prevención)	Estructuras de ocupación especial	Estructuras esenciales	Tasa anual de excedencia
Daño	No	Si	0.00211
Colapso	Si	Si	0.00004

Tabla 10: Nivel de desempeño estructural para estructuras esenciales y de uso especial

NOTA: para verificar el nivel de desempeño de estructuras esencial y de ocupación especial, se podrán utilizar varios métodos: Análisis no-lineal estático (pushover...), etc.

4.4. Requisitos del diseño sismo resistente

La filosofía de diseño se traduce por un diseño que cumplirá los 3 requisitos siguientes.

a. Seguridad de vida – condición de resistencia

Se verificará que todas las estructuras ([NEC-SE-HM](#), [NEC-SE-AC](#), [NEC-SE-MP](#), [NEC-SE-MD](#)) y su cimentación ([NEC-SE-GM](#)) no rebasen ningún estado límite de falla. Se traduce por el nivel “seguridad de vida” de la estructura ante un sismo severo.

Una estructura se considera que satisface los criterios de estado de último límite, si todos los factores siguientes están por debajo del factor de resistencia, calculado para la sección de que se trate:

- de compresión,
- de tracción,