

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC

NEC-SE-RE

**REHABILITACIÓN SÍSMICA DE
ESTRUCTURAS**

CONTENIDO

1.	Generalidades	6
1.1.	Definiciones	6
1.2.	Símbolos.....	10
1.2.1.	Unidades.....	10
1.2.2.	Simbología.....	10
1.3.	Marco normativo y referencias	12
1.3.1.	Normas ecuatorianas de la construcción	12
1.3.2.	Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-RE de las NECs	12
1.3.3.	Otras referencias	13
2.	Alcances y metodología.....	14
2.1.	Introducción al riesgo sísmico	14
2.2.	Evaluación del riesgo sísmico en Ecuador	15
2.3.	Alcances	16
2.4.	Metodología de rehabilitación sísmica	17
2.4.1.	Generalidades	17
2.4.2.	Base metodológica	17
2.4.3.	Etapas del proceso de rehabilitación sísmica	18
3.	Requerimientos del diseño sismoresistente en rehabilitación.....	19
3.1.	Peligro sísmico en el sitio de implantación	19
3.2.	Categoría de edificio y coeficiente de importancia	19
3.3.	Niveles de amenaza sísmica.....	20
3.4.	Niveles de desempeño	20
3.5.	Nivel de desempeño para estructuras esenciales y de ocupación especial.....	21
3.6.	Definición de los objetivos de rehabilitación sísmica	22
3.6.1.	Objetivos para todas estructuras	22
3.6.2.	Objetivos para estructuras no normales.....	22
3.7.	Requerimientos mínimos para la evaluación	23
3.8.	Combinación de cargas.....	24
3.9.	Métodos de análisis y criterios de aceptación.....	24
4.	Levantamientos e investigaciones.....	26
4.1.	Levantamiento de información y ensayos	26
4.2.	Investigaciones e incertidumbres	26
4.3.	Informe de riesgo sísmico	27
4.3.1.	Aplicación y pertinencia temporal del informe	27
4.3.2.	Contenido del informe de riesgo sísmico	27
5.	Evaluaciones del riesgo sísmico	29
5.1.	5 tipos de investigaciones	29
5.2.	Inspección y evaluación rápida de estructuras	29

5.3.	Evaluación de la estabilidad y desempeño sísmico del edificio (BS)	30
5.3.1.	Nivel BS1 de investigación	30
5.3.2.	Nivel BS2 de investigación	31
5.3.3.	Nivel BS3 de investigación	31
5.4.	Evaluación de la estabilidad del sitio (SS)	32
5.4.1.	Nivel SS1 de investigación	32
5.4.2.	Nivel SS2 de investigación	32
5.4.3.	Nivel SS3 de investigación	33
5.5.	Evaluación del riesgo sísmico en el edificio (BD)	33
5.5.1.	Escenarios de pérdidas (SL, PL, AAL)	34
5.5.2.	Niveles de investigación del riesgo sísmico en edificios	35
5.5.3.	Evaluación de las pérdidas en el contenido del edificio (CD)	36
5.5.4.	Evaluación del tiempo de interrupción (BI)	36
5.6.	Evaluación del riesgo sísmico a nivel nacional, regional o urbano	37
5.6.1.	Propósito	37
5.6.2.	Metodología	37
6.	Estrategias de rehabilitación	38
6.1.	Líneas principales de rehabilitación	38
6.2.	Diseño de nuevos elementos	38
6.3.	Memoria de diseño y rehabilitación	38
7.	Esquema conceptual de la NEC-SE-RE	40



Índice de tablas

Tabla 1: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura	19
Tabla 2: Niveles de amenaza sísmica	20
Tabla 3 : Control de daño y niveles de desempeño para edificios	21
Tabla 4: Objetivos de Rehabilitación.....	22



Índice de figuras

Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z.....	15
Figura 2: Esquema conceptual simplificado de evaluación sísmica de la NEC-SE-RE	40

1. Generalidades

1.1. Definiciones

Componentes no estructurales

Componentes del edificio que no forman parte del sistema estructural que resiste cargas verticales y laterales y que tampoco se definen como contenido del edificio.

Consultor

Persona u organización que ejecuta la visita al sitio y prepara el reporte de riesgo sísmico de un edificio o grupo de edificios.

Contenido del edificio

Instalaciones contenidas en el edificio que no han sido definidas como sistemas estructurales del edificio.

Los ejemplos incluyen equipos instalados por los ocupantes, sistemas de manejo de materiales, estanterías, muebles, accesorios, máquinas de oficina, equipos de computación, equipos y maquinarias y bienes personales.

Costo de reposición

Costo requerido para construir nuevamente y completamente un nuevo edificio con las mismas características como tamaño, fachadas, configuración y uso del referido edificio asumiendo un sitio virgen.

El costo de reposición incluye costos por construcción incluyendo costo de materiales y mano de obra, diseño, supervisión en sitio, administración, etc.

Daños o gastos de reparación

Costo requerido para reparar el edificio y llevarlo a la condición en que se encontraba antes del sismo, permitiendo su permanencia o demolición.

El valor incluye los costos de construcción así como los costos para el diseño, supervisión de obras, de gestión, etc.

Deficiencia

Defecto visible en el edificio o falta de mantenimiento significativo del edificio en sus componentes o equipos.

Condiciones que resultan de la falta de mantenimiento rutinario, reparaciones varias, mantenimiento operativo, etc., no son considerados una deficiencia.

Documentos originales de construcción

Documentos usados en la fase de construcción inicial y cualquier modificación subsecuente en el

edificio que es objeto de la evaluación de riesgo sísmico.

Generalmente los planos son los documentos de construcción preferidos.

Estabilidad del Edificio y Desempeño Sísmico (*Building Stability: BS*)

Evaluación del desempeño sísmico y de la estabilidad del edificio.

Estabilidad del sitio (*Site Stability: SS*)

Evaluación de la estabilidad del sitio por fallas, licuefacción del suelo, deslizamientos de tierra, u otra respuesta in situ que pudiera amenazar la estabilidad del edificio o causar daños durante un sismo.

Índice de daño

Relación entre el costo del daño (o de su reparación) y el costo de reposición.

Ocupante

De un edificio, un grupo u organización o parte de esta, o un individuo o individuos, que están o estarán ocupando algún espacio para realizar alguna actividad.

Personas que están autorizadas para estar presentes sólo temporalmente, o en circunstancias especiales como a las que se les permite entrada sólo en caso de emergencia, son visitantes.

Pérdida anualizada promedio (*Average Annual Loss: AAL*)

Es la pérdida económica expresada como promedio anual a largo plazo de las pérdidas causadas por todos los sismos posibles. La AAL como valor absoluto o normalizado con respecto al costo de reposición, es el promedio anual del costo a largo plazo de los sismos en una región geográfica o en una estructura en particular.

Pérdida Escenario (*Scenario Loss: SL*)

Pérdidas esperadas por daños del edificio asociados con un sismo específico (*M* y *R*) o con una falla específica que haya afectado al edificio.

valores de SL son expresados en términos de la razón de daño o relación costo del daño / costo de reparación en precio actual. El SL es generalmente limitado a pérdidas debidas al sismo asociadas con el peligro sísmico, pero podrían incluir pérdidas por otros peligros sísmicos, como se prescriba por el usuario.

Pérdida Escenario Esperada (*Scenario Expected Loss: SEL*)

Valor esperado de *SL*.

Pérdida Escenario máxima (*Scenario Upper Loss: SUL*)

Valor esperado de *SL* que tiene un 10% de probabilidad de excedencia para el sismo específico del escenario considerado.

Pérdida máxima probable (*Probable Maximum Loss: PML*)

Término históricamente utilizado en caracterizar daño de edificios debido a sismos.

PML ha tenido un gran número de diferentes definiciones explícitas e implícitas. Cuando un profesional usa el término PML, éste deberá ser definido en términos de SL o PL como ya se definió.

Pérdida probable (*Probable Loss*: PL)

Pérdidas en los sistemas del edificio debidas al sismo que tienen una probabilidad especificada de ser excedidas en un período de tiempo determinado, o pérdidas debidas al sismo con un período de retorno de excedencia específico.

Peritaje Estructural

La evaluación de la condición de una propiedad para el propósito de identificar las condiciones o características de la propiedad, incluyendo potenciales condiciones peligrosas, que pueden ser importantes para determinar la conveniencia de la propiedad para realizar transacciones financieras o inmobiliarias.

El grado de peritaje ejercido por parte del Usuario es usualmente proporcional a la tolerancia a la incertidumbre del Usuario, el propósito de la evaluación de riesgo sísmico, los recursos y el tiempo disponible del profesional para ejecutar la visita al sitio y su respectiva investigación.

Riesgo sísmico en el edificio (BD)

Evaluación de la vulnerabilidad y pérdidas que se podrían producir en un edificio o grupo de edificios por el peligro sísmico existente en el sitio de emplazamiento de las estructuras. La evaluación incluye el cálculo de pérdidas para un escenario específico (SL), pérdida probable (PL), pérdida anualizada promedio (AAL) o todas las anteriores.

Sistema resistente a cargas laterales

Los elementos del sistema estructural que resisten la acción sísmica. Esto incluye respuesta vertical, horizontal y torsional de elementos y sistemas.

Sistemas del edificio

Todos los sistemas físicos que comprenden un edificio y sus servicios.

Esto incluye sistemas arquitectónicos, estructurales, mecánicos, plomería, electricidad, protección contra incendios, transportación vertical (ascensores) y sistemas de seguridad. Más específicamente los sistemas arquitectónicos incluyen fachadas no estructurales, techos, paredes divisorias no estructurales, particiones, etc.; sistemas estructurales incluyendo sistemas y fundaciones para resistencia de fuerzas gravitatorias y sísmicas; sistemas mecánicos de calefacción, ventilación y equipos de aire acondicionado, ductos, sistemas de control, etc.; sistemas de plomería incluyendo calentadores de agua domésticos, tuberías, controles, accesorios de plomería, sistemas de aguas residuales, gas natural y gas propano, aguas lluvias y bombas, etc.; sistemas eléctricos incluyendo interruptores, transformadores, breakers, cableado, accesorios para iluminación, sistemas emergentes de energía, etc.; y sistemas contra incendios incluyendo rociadores, sistemas de monitoreo y alarma, etc. Lo que no se incluye como sistemas del edificio es considerado como contenido del edificio.

Tiempo de Interrupción (Business Interruption: BI)

Período de interrupción de las operaciones comerciales normales que pueden potencialmente o materialmente causar una pérdida para el propietario/operador de ese negocio. Evaluación de las pérdidas por interrupción o uso parcial del edificio.

Las pérdidas pueden ser parciales o totales para el periodo en consideración. El tiempo de interrupción es expresada en días/hora/meses de inactividad para el edificio en su conjunto, o el valor de funcionamiento equivalente.

Usuario

Persona o institución que consigue al profesional para que prepare la evaluación de riesgo sísmico.

Visita al sitio

Reconocimiento visual del sitio y la propiedad física por parte del profesional para recolectar información para los propósitos de preparar la evaluación del riesgo sísmico.

no se espera que el profesional use ningún tipo de herramienta en el momento del reconocimiento visual de los sistemas del edificio y sus componentes durante la visita al sitio. Esta definición implica que esta visita es preliminar y no a fondo y usualmente hecha sin ninguna prueba de tipo exploratorio, ni de remoción de materiales, o pruebas. Es literalmente la inspección visual del profesional al edificio y al sitio.

Vulnerabilidad y pérdidas en el contenido (CD)

Evaluación de la vulnerabilidad y pérdidas en el contenido del edificio.

1.2. Símbolos

1.2.1. Unidades

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

1.2.2. Simbología

Símbolo	Definición
AAL	Pérdida Anualizada Promedio
BD	Riesgo sísmico
BI	Tiempo de Interrupción
BS	Estabilidad del Edificio y Desempeño Sísmico
CD	Vulnerabilidad y pérdidas en el contenido
D	carga muerta total de la estructura
E	Efectos de las fuerzas sísmicas
η	Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno

Símbolo	Definición
	seleccionado.
F_a	Coeficiente de amplificación de suelo en las zona de periodo corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de <u>aceleraciones</u> 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 <u>desplazamientos</u> 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 periodo 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
k	Factor de incertidumbre <i>aplicado a las</i> propiedades mecánicas asumidas a partir de documentos o planos
L	Sobrecarga (carga viva)
PGA	Valor de la aceleración sísmica esperada en roca (<i>Peak Ground Acceleration</i>)
PL	Pérdida Probable
S_a o $S_a(T)$	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
SL	Pérdida Escenario
SS	Estabilidad del sitio
T_r	Periodo de retorno de un sismo
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

1.3. Marco normativo y referencias

1.3.1. Normas ecuatorianas de la construcción

- NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)
- NEC-SE-DS: Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente
- NEC-SE-RE: Rehabilitación Sísmica 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

1.3.2. Normas extranjeras usadas para la norma NEC-SE-RE de las NECs

ASCE 31	Seismic Evaluation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers (2003)
ASCE 41	Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers (2006)
FEMA 154	Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards
FEMA 274	NEHRP commentary on guidelines for seismic rehabilitation of buildings (1997)
FEMA 356	Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings (2000)
FEMA 440	Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures FEMA 440 (2005)

1.3.3. Otras referencias

Argudo J, PROYECTO RADIUS GUAYAQUIL Herramientas de Evaluación del Riesgo para el Diagnóstico de Zonas Urbanas contra Desastres Sísmicos, 1999.

ASTM, E2026 Standard Guide for Seismic Risk Assessment of Buildings.

ATC, Guidelines for Seismic Performance Assessment of Buildings, ATC-58

EPN, GEOHAZARDS INT., IMQ, ORSTOM, OYO, Earthquake Risk Management Project, Quito, Ecuador, 1994.

PROYECTO PRECUPA, "Informe Final del Proyecto PRECUPA: Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute", Cuenca, 1998.

Yepez H., Chatelain J.L., Guillier B, "Estudio del Riesgo Sísmico en el Ecuador", Comunicación.

2. Alcances y metodología

2.1. Introducción al riesgo sísmico

El riesgo sísmico resulta de la convolución del peligro sísmico, exposición geográfica y la vulnerabilidad o susceptibilidad al daño que tienen las edificaciones.

El análisis de vulnerabilidad se realiza a través de funciones de vulnerabilidad o fragilidad, que relacionan probabilísticamente una medida de intensidad sísmica con una medida de daño en la edificación. En muchos casos las funciones de vulnerabilidad también incorporan las consecuencias del daño en términos de pérdidas humanas y materiales.

El Ecuador tiene una larga historia de actividad sísmica que, en los últimos 460 años, ha provocado la destrucción de ciudades enteras como Riobamba e Ibarra, con la muerte de más de 60 000 personas (Yépez H. et al 1998). Escenarios sísmicos probables evaluados en Quito (EPN et al 1994), Guayaquil (Argudo J. et al, 1 999) y Cuenca (García E. et al 2 000), muestran un panorama muy poco alentador y la necesidad urgente por emprender en programas para la mitigación del riesgo sísmico.

La situación del Ecuador no es distinta a la de otros países en fase de desarrollo, que al igual que el nuestro, experimentan un crecimiento rápido de su población y una urbanización intensa, lo que ha producido un crecimiento acelerado de las pérdidas causadas por los sismos. Por estas razones, el estudio del riesgo sísmico y su impacto en el desarrollo, constituye un reto científico crucial para el siglo veinte y uno.

El riesgo sísmico resulta de 3 factores:

- combinación del peligro sísmico,
- nivel de exposición,
- vulnerabilidad de las edificaciones.

La mayoría del territorio del Ecuador se encuentra ubicado en una zona de alto peligro sísmico, como se evidencia en la [NEC-SE-DS](#) en la Figura 1. Sumado a esto, la vulnerabilidad o susceptibilidad al daño de muchas edificaciones que tienen un alto grado de exposición por estar en su mayoría situadas en ciudades con alta peligrosidad sísmica como Quito, Guayaquil y todas las ciudades costeras, de aquellas construidas antes de la promulgación de los códigos de la construcción o de aquellas que no han sido diseñadas apropiadamente y que a lo largo de su vida han sido reformadas, ampliadas o que han sufrido un cambio en el tipo de uso, distinto al contemplado en el diseño. De ahí que se puede intuir que el riesgo sísmico es alto y debe ser considerado en la toma de decisiones.

Un caso crítico es el de las edificaciones llamadas esenciales o de ocupación especial, que no pueden cesar sus actividades luego de un sismo, sobre todo cuando el desastre natural ha causado el colapso de otras edificaciones, con heridos, muertos y refugiados. Entre estas edificaciones se encuentran los hospitales, muchos de los centros educativos, edificios de bomberos y otras instituciones de socorro, destacamentos militares y de policía, gobierno, etc.

Sin duda, una mejor estimación del riesgo sísmico es fundamental para minimizar la pérdida de vida, daño a la propiedad, el trastorno social y económico debido a los sismos.

Una presentación relevante y transparente del riesgo sísmico provee la base para mejores códigos de construcción, planes de respuesta emergente, protección de la infraestructura crítica, planeamiento del uso del suelo para desarrollo sostenible y estrategias para la contratación de seguros.

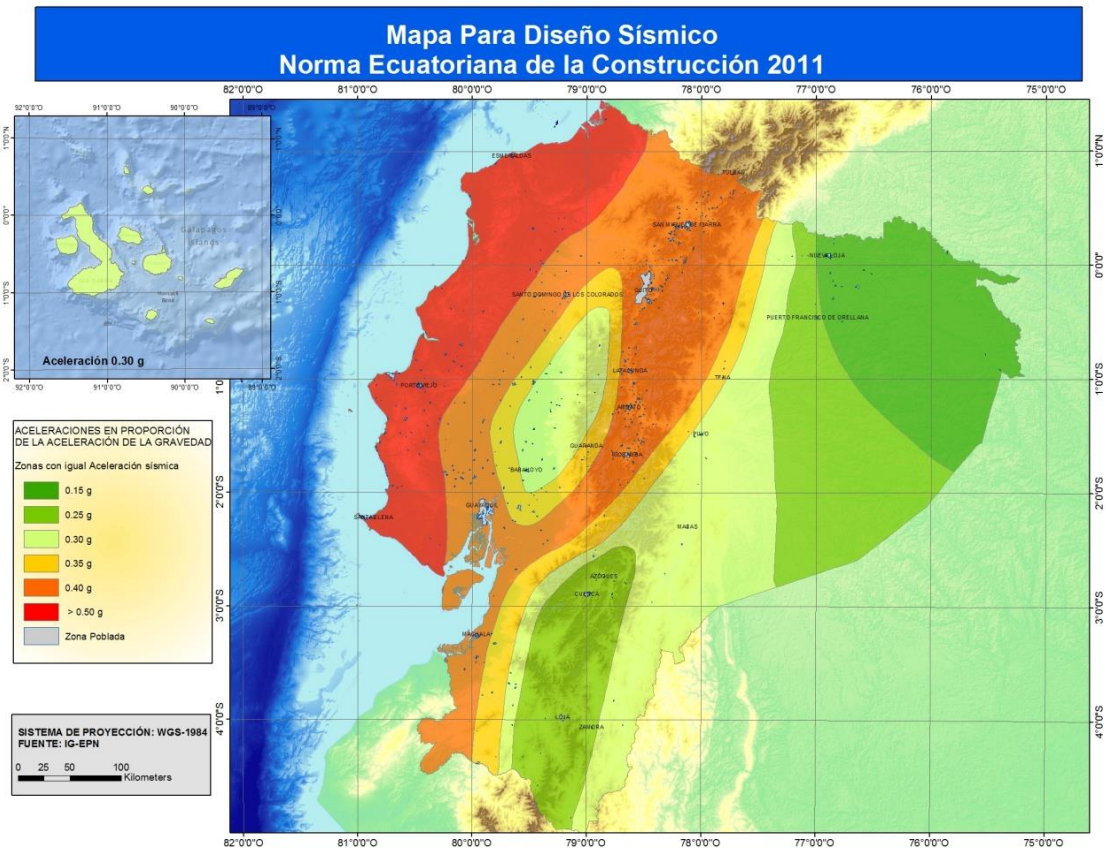


Figura 1. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

2.2. Evaluación del riesgo sísmico en Ecuador

Los sismos ocurridos en la historia reciente alrededor del mundo han causado incontables pérdidas humanas y materiales, que han motivado el desarrollo de técnicas para la cuantificación de riesgo sísmico, un campo de especial interés para los inversionistas, compañías aseguradoras y propietarios de bienes inmuebles.

Este capítulo contiene información que debe usarse como guía para la cuantificación de pérdidas por sismos, en apoyo con el ASCE41-06.

La evaluación del riesgo sísmico no es obligatoria en el Ecuador, ni requisito previo a la transferencia de bienes inmuebles o su aseguramiento. La promulgación de esta norma debe ser un motivo para que, en los próximos años, se convierta en una parte integral de las decisiones

financieras.

En esta metodología, las pérdidas económicas se miden a través de variables específicas y consistentes como son:

- Pérdida Probable (PL)
- Pérdida Escenario (SL)
- Pérdida Anualizada Promedio (AAL)

Véase en la sección 5.5.

2.3. Alcances

Los contenidos de este capítulo de la norma deberán ser aplicados por las instituciones financieras, de seguros, inversionistas de capital en bienes raíces y otros usuarios que deseen estimar las posibles pérdidas por sismo en los edificios.

La evaluación de riesgo sísmico presentada en el presente capítulo podrá ejecutarse para un edificio o un grupo de edificios.

Los elementos-claves presentados para realizar evaluación de riesgo sísmico en edificios, incluyen el cálculo de pérdidas potenciales a la propiedad cuando ocurra un sismo.

El riesgo evaluado mediante este capítulo incluye:

- daños por movimiento del suelo,
- inestabilidad del terreno,
- rupturas de la falla,
- deslizamientos,
- licuación de suelos, desplazamientos laterales, asentamientos e inundaciones, causados por sismos

No se incluyen los daños por incendios, derrames tóxicos y otras catástrofes causadas por un sismo.

Véase en la sección [4.2](#) para más detalles.

2.4. Metodología de rehabilitación sísmica

2.4.1. Generalidades

La rehabilitación sísmica de edificios se ejecutará de acuerdo a la norma “Seismic rehabilitation of existing buildings, [ASCE 41](#)”, salvo en los temas donde prevalecerán los criterios que se presentan a continuación.

Se espera que la mayoría de edificios rehabilitados de acuerdo a [ASCE 41](#) alcancen los niveles de desempeño (véase la sección 3.4) deseados ante la acción del sismo de diseño. Sin embargo, el cumplimiento de esa norma no garantiza tal desempeño, más bien, representa el estado del conocimiento en este campo de la ingeniería. El conocimiento en ingeniería sísmica evoluciona rápidamente, tanto en el entendimiento sobre el comportamiento de los edificios atacados por sismos, como en las técnicas para predecir su desempeño. Información sobre la confiabilidad de los procedimientos especificados en [ASCE 41](#) se encuentran en [FEMA 274](#).

2.4.2. Base metodológica

El objetivo de la evaluación del riesgo sísmico es cuantificar las pérdidas económicas por la ocurrencia de sismos y otros posibles peligros sísmicos como sea prescrito por el usuario por medio del análisis de ingeniería y evaluación de las características de vulnerabilidad del edificio a determinados niveles de sismos.

Los contenidos de este capítulo deberán utilizarse como base metodológica para la ejecución de estudios de:

- Verificación del desempeño sísmico de estructuras previo a su construcción, en cumplimiento de las disposiciones de la [NEC-SE-DS](#) para estructuras esenciales y de ocupación especial (véase en la sección [3.5](#)).
- Rehabilitación sísmica de edificios, que consiste en el diseño y la evaluación de sistemas de rehabilitación sísmica para mejorar el desempeño sísmico de estructuras existentes en función del cumplimiento de un objetivo de desempeño sísmico (véase en la sección 0).
- Evaluación del riesgo sísmico en edificios, con la valoración probabilística de las pérdidas materiales por sismo, para aportar elementos de decisión en la compra de bienes inmuebles, su rehabilitación sísmica, o el cálculo de una prima de seguro contra sismo (véase 5).
- Inspección y evaluación rápida de estructuras, como herramienta o componente básico de los estudios descritos anteriormente (véase en la sección [5.2](#)).
- Evaluación del riesgo sísmico a nivel nacional, regional o urbano, para estimar probabilísticamente las pérdidas por sismo y proveer insumos para la gestión efectiva del riesgo sísmico (véase en la sección [5.6](#)).

2.4.3. Etapas del proceso de rehabilitación sísmica

La ejecución de un estudio de rehabilitación debe contener al menos lo siguiente:

- Definición del objetivo de rehabilitación ([3.6](#))
- Levantamiento de información y ensayos ([4](#))
- Evaluación de la estructura ([5](#))
- Modelación, análisis y criterios de aceptación ([3.7](#))
- Diseño y Rehabilitación, selección de estrategias de rehabilitación ([6](#))

3. Requerimientos del diseño sismoresistente en rehabilitación

3.1. Peligro sísmico en el sitio de implantación

La investigación del peligro sísmico en el sitio de implantación del edificio o grupo de edificios tomará como base la información presentada en la [NEC-SE-DS](#).

3.2. Categoría de edificio y coeficiente de importancia

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 7](#) de la NEC-SE-DS 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	Coeficiente 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 sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias 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 1: 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 3.5.

3.3. Niveles de amenaza sísmica

Con el propósito de evaluación y rehabilitación sísmica de edificios se definen 4 niveles discretos de amenaza sísmica, que corresponden a probabilidades de excedencia de 50%, 20%, 10% y 2% en 50 años. Valores de PGA y formas espectrales correspondientes a cada uno de estos niveles de amenaza, pueden obtenerse a partir de las curvas de amenaza y otra información contenida en la [NEC-SE-DS](#).

Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno T_r (años)	Tasa de excedencia ($1/T_r$)
2%	2500	0.00040
10%	475	0.00211
20%	225	0.00444
50%	72	0.01389

Tabla 2: Niveles de amenaza sísmica

Para determinar el espectro elástico (descrito en la sección [3.3.1](#) de la [NEC-SE-DS](#)) para diferentes periodos de retorno, siempre que el valor de PGA obtenido a partir de las curvas de amenaza para el sitio del emplazamiento (descrito en la sección [3.1.2](#) de la [NEC-SE-DS](#)) esté en el rango entre 0.15 g y 0.5 g, se podrá estimar mediante el procedimiento descrito en la sección [3.2.2](#) de la [NEC-SE-DS](#) con 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 3, 4 y 5](#) de la [NEC-SE-DS](#), considerando en este caso PGA igual a Z .

El valor η es la razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.

3.4. Niveles de desempeño

Resultan de la combinación de los niveles de desempeño estructural y no estructural. Las combinaciones recomendadas y el nivel de daño esperado se describen en la [Tabla 3.2](#).

Se comprobaran las estructuras existentes para los 4 siguientes niveles de desempeño:

- 1-A: nivel operacional
- 1-B: nivel de ocupación inmediata
- 3-C: nivel de seguridad de vida
- 5-E: nivel de prevención al colapso

En la sección [3.6.1](#), se definen objetivos de rehabilitación de acuerdo con estos niveles de desempeño y con los niveles de amenaza sísmica definidos en la sección [3.3](#).

La siguiente tabla presenta el control de daño y los niveles de desempeño para edificios:

	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)	Nivel de Seguridad de Vida (5-E)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel Operacional (1-A)
Daño Global	Severo	Moderado	Ligero	Muy Ligero
General	Pequeña resistencia y rigidez residual, pero columnas y muros cargadores funcionando. Grandes derivas permanentes. Algunas salidas bloqueadas. Parapetos no asegurados que han fallado o tienen alguna falla incipiente. El edificio está cerca del colapso	Algo de resistencia y rigidez residual ha quedado en todos los pisos. Elementos que soportan cargas gravitacionales aún funcionando. Fallas en muros dentro de su plano o parapetos inclinados. Algo de deriva permanente. Daño en paredes divisorias. El Edificio se mantiene económicamente reparable	No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene resistencia y rigidez originales. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, cielos razos así como en elementos estructurales. Los ascensores aún pueden ser encendidos. Sistema contra incendios aún operable	No hay deriva permanente. La estructura aún mantiene la resistencia y rigidez originales. Fisuras menores en fachadas, paredes divisorias, y cielos razos así como en elementos estructurales. Todos los sistemas importantes para una operación normal están en funcionamiento
Componentes No Estructurales	Daño severo	Peligro de caída de objetos mitigado pero bastante daño en sistemas: arquitectónico, mecánico y eléctrico	Equipos y contenido están seguros de manera general, pero algunos no operan debido a fallas mecánicas o falta de utilidad	Ocurre daño insignificante. La energía eléctrica y otros servicios están disponibles, posiblemente por servicios de reserva

Tabla 3 : Control de daño y niveles de desempeño para edificios

3.5. Nivel de desempeño para estructuras esenciales y de ocupación especial

En el caso de edificaciones esenciales y de uso especial (para más detalles, véase la sección [4.1](#) de la [NEC-SE-DS](#)), se deberá realizar un análisis de verificación del desempeño sísmico.

En la verificación del desempeño sísmico se aplicará un procedimiento de análisis no lineal (véase la sección 3.9) y se verificará el cumplimiento de los siguientes objetivos de desempeño:

Estructuras esenciales: Seguridad de vida ante amenaza sísmica con un periodo de retorno $Tr=475$ años y Prevención de colapso ante amenaza sísmica con $Tr=2500$ años.

Estructuras de ocupación especial: Prevención de colapso ante amenaza sísmica con $Tr=2500$ años.

Los niveles de desempeño para Seguridad de Vida y Prevención de Colapso se encuentran descritos en la sección 3.4.

3.6. Definición de los objetivos de rehabilitación sísmica

3.6.1. Objetivos para todas estructuras

Los objetivos de rehabilitación sísmica, de acuerdo con los niveles de amenaza y de desempeño son indicados en la siguiente tabla:

		Niveles de Desempeño Esperados en el Edificio			
		Nivel Operacional (1-A)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Prevención al Colapso (5-E)
NIVEL DE TERREMOTO	50% / 50 años	a	b	c	d
	20% / 50 años	e	f	g	h
	BSE-1 (10% / 50 años)	i	j	k	l
	BSE-2 (2% / 50 años)	m	n	o	p

1.- Cada celda en esta matriz representa un Objetivo de Rehabilitación discreto

2.- Los objetivos de rehabilitación de esta tabla pueden ser usados para representar los siguientes 3 objetivos de rehabilitación:

- Objetivo Básico de Seguridad **k y p**
- Objetivos Avanzados **k y m, n, or o**
p e i ó j
k y p y a, b, e, ó f
- Objetivos Limitados **m, n, u o sólo**
k sólo
p sólo
c, d, g, h, o l sólo

Tabla 4: Objetivos de Rehabilitación

3.6.2. Objetivos para estructuras no normales

Un objetivo de rehabilitación se define con la selección de uno o más pares de niveles sísmicos y los correspondientes niveles de desempeño. Es decir, los niveles de daño estructural y no-estructural que debe alcanzar la edificación cuando es atacada por sismos de distinta probabilidad de excedencia (o período de retorno). Véase la [Tabla 3](#) de la sección [3.6.1](#).

Dependiendo del tipo de estructura, se definen los siguientes objetivos:

- Las estructuras esenciales deberán ser rehabilitadas al menos para el objetivo de rehabilitación básico (k y p).
- Las estructuras de ocupación especial deben ser rehabilitadas para un objetivo reducido (g y h).

3.7. Requerimientos mínimos para la evaluación

La evaluación de riesgo sísmico podrá ejecutarse para un edificio o un grupo de edificios, de acuerdo con el 5.

Como mínimo, la estimación de vulnerabilidad y las pérdidas por efectos de un sismo, deberá incluir la evaluación de:

- **estabilidad del edificio (BS definido en la sección 5.3)**; el objetivo de la evaluación BS es determinar el nivel de desempeño sísmico de la estructura, incluyendo la verificación de si el edificio puede permanecer estable durante y luego de ocurrido un sismo.
- **estabilidad de sitio (SS definido en la sección 5.4)**; el objetivo de la evaluación de la estabilidad de sitio SS es determinar si el edificio está localizado en un sitio que puede ser sujeto de inestabilidad debido a sismos inducidos por rupturas de falla superficial, licuación de suelos, hundimiento, asentamiento, deslizamiento, tsunamis, seiches, etc.

El usuario escogerá cualquier nivel de investigación para esta evaluación (del Nivel 1 al Nivel 3) y deberá aprobar la selección del escenario sísmico y del período de retorno de la amenaza sísmica que se usará en la evaluación de las pérdidas SL y PL respectivamente (véase la sección [5.5.1](#)).

En algunos casos, una propuesta de rehabilitación sísmica del edificio puede ser requerida por el usuario bajo condiciones específicas, generalmente cuando la evaluación realizada indique la existencia de inestabilidad o daño que han excedido un valor límite. En esos casos, la evaluación de riesgo sísmico deberá desarrollarse tanto para el edificio en su condición existente, así como para la condición reparada del mismo.

El uso de una herramienta computacional para la evaluación de pérdidas debidas al sismo y que requiera sólo información general (por ejemplo, tipo de estructura, número de pisos) acerca del edificio y el sitio deberá ser limitada a Nivel 1 (nivel de examinación) de las evaluaciones.

El usuario deberá acordar con el profesional o proveer de acceso a todos los reportes, planos y especificaciones del edificio, tanto del edificio original como de cualquier modificación, alteración o adición. Esto debe incluir todos los reportes geotécnicos y análisis del sitio y cualquier reporte de investigación ingenieril o de construcción, particularmente aquellas que tengan que ver con sismos. Donde no sea posible, estos documentos podrán obtenerse de un ente gubernamental o podrán ser obtenidos del profesional responsable del diseño.

El usuario debe proporcionar, en la medida de lo posible, el acceso oportuno a los profesionales que han diseñado el edificio o colaborado en su diseño, análisis y evaluación.

3.8. Combinación de cargas

Para efectos de rehabilitación, las acciones gravitacionales y sísmicas se combinan de manera distinta a la utilizada en el diseño. De entre las dos combinaciones que se presentan a continuación, aquella que cause el efecto más desfavorable en la estructura deberá ser utilizada:

$$1.1 (D + 0.25L) + E$$

$$0.9 (D + 0.25L) + E$$

Donde:

D	Carga muerta total de la estructura
E	Efectos de las fuerzas sísmicas
L	Sobrecarga (carga viva)

Determinación de las cargas sísmicas

- Se calcularán los efectos de las fuerzas sísmicas E de acuerdo con las secciones [3.3](#) y [3.4](#) de la [NEC-SE-DS](#).
- Se determinarán las combinaciones de los componentes de las cargas sísmicas de acuerdo con la sección [3.5](#) de la [NEC-SE-DS](#).
- Se combinarán las varias cargas de acuerdo con la sección [3.4](#) de la [NEC-SE-CG](#).

3.9. Métodos de análisis y criterios de aceptación

Los procedimientos que se presentan en esta sección son específicamente aplicables para la rehabilitación de edificios existentes y en general son más apropiados que los procedimientos que se presentan en los capítulos de diseño.

Esta norma permite la aplicación de cuatro procedimientos de análisis estructural:

- Lineal estático,
- Lineal dinámico,
- No-lineal estático,
- No-lineal dinámico.

El usuario o diseñador buscare los procedimientos en el [capítulo 3](#) del [ASCE 41-06](#).

NOTA: El procedimiento simplificado de rehabilitación sísmica presentado en [ASCE 41](#) no es aplicable en Ecuador.

Los procedimientos lineales son basados en fuerzas (véase [sección 6](#) de la [NEC-SE-DS](#)) y se han diseñado para producir una estimación conservadora de la respuesta y desempeño sísmico ya que

estos métodos no son siempre exactos.

Ya que en la realidad, la respuesta de los edificios es no-lineal, los métodos no-lineales producen una representación más exacta de su respuesta y desempeño. Reconociendo las fortalezas del análisis no-lineal, estos métodos tienen límites menos conservadores en cuanto a la respuesta permisible de la estructura. Edificios que han sido evaluados como deficientes mediante análisis lineal, pueden cumplir con los requerimientos de este capítulo si se analizan mediante procedimientos no-lineales. De ahí que, la ejecución de análisis no-lineales es recomendada en esta norma ya que puede minimizar la necesidad de rehabilitación sísmica y sus costos.

Los modelos matemáticos generados para la estructura deben ser consistentes con el procedimiento de análisis seleccionado.

Los resultados obtenidos con el procedimiento de análisis seleccionado deberán evaluarse con los criterios de aceptabilidad que propone [ASCE 41-06](#) para ese procedimiento.

4. Levantamientos e investigaciones

Se encontrarán más elementos en la sección 5.

4.1. Levantamiento de información y ensayos

Información *as-built* sobre la configuración del edificio, sus componentes, el sitio de implantación, la cimentación y de las estructuras adyacentes, debe ser obtenida de acuerdo a [ASCE 41](#).

La información recabada debe tener el detalle suficiente para permitir la clasificación de los componentes como principales, secundarios y no estructurales, su modelación y análisis por el método seleccionado. Información recabada de documentos disponibles deberá suplementarse y verificarse en sitio mediante investigaciones no-destructivas y ensayos de materiales.

En el caso de ser aplicado un procedimiento de análisis lineal dinámico, cuando limitaciones económicas o de otro tipo impidan la ejecución de pruebas físicas o ensayos sobre los materiales, las propiedades mecánicas asumidas a partir de documentos o planos serán afectadas por un factor de incertidumbre k menor o igual que 0.75. Se deberán justificar concretamente dichas limitaciones. Procedimientos de análisis no-lineal, menos conservadores que el lineal dinámico, requieren la ejecución de pruebas físicas y ensayos.

La configuración estructural y las posibles deficiencias pueden ser evaluadas mediante los métodos presentados en [ASCE 31](#) o [FEMA 310](#).

Las amenazas provenientes de pueden ser evaluadas mediante el procedimiento de evaluación presentado en este numeral.

4.2. Investigaciones e incertidumbres

Esta sección propone procedimientos para el desarrollo de cinco tipos de evaluación de riesgo sísmico. Cada uno de ellos está destinado a servir diferentes necesidades de gestión del usuario.

4.2.1. Nivel de investigación

La selección de un nivel de investigación a desarrollar deberá ser guiada por el nivel esperado de incertidumbre en el resultado que sea aceptable para el usuario.

Un menor nivel de investigación genera un mayor nivel de incertidumbre (coeficiente k) que puede ser esperado en los resultados dados por el mismo profesional que ha realizado las investigaciones.

A menor tolerancia en la incertidumbre, menor puede ser el nivel de investigación.

A mayor peligro sísmico en la región en la cual el edificio se encuentra localizado, mayor será el nivel de evaluación, todos los otros ítems permanecerán iguales.

4.2.2. Disponibilidad de la información

Esta guía reconoce que las opiniones y observaciones del profesional pueden ser afectadas o son

dependientes de la información (o la falta de ésta) que está a su disposición durante la ejecución de la investigación.

Por ejemplo, las observaciones de un profesional pueden verse afectadas por el número de personas que usan el edificio o la disponibilidad de la administración de proporcionar información, como los documentos originales de construcción.

4.2.3. Incertidumbre en la evaluación

No toda propiedad garantiza el mismo nivel de evaluación de riesgo sísmico. La selección del nivel apropiado de evaluación debe considerar el tipo de estructura objeto de la evaluación, los recursos y tiempos disponibles, el grado de aceptación del riesgo del usuario y la información desarrollada durante la investigación.

Ninguna estimación puede eliminar totalmente la incertidumbre con respecto al daño que resulta de un sismo. Los distintos niveles de evaluación descritos en esta sección están direccionados a reducir, más no a eliminar, incertidumbres producidas en la estimación del daño. Es necesario reconocer los límites razonables de tiempo y costo relacionados con un nivel seleccionado de evaluación.

4.3. Informe de riesgo sísmico

Los resultados de las investigaciones deberán ser documentadas en un reporte escrito, siguiendo el formato establecido por el usuario.

4.3.1. Aplicación y pertinencia temporal del informe

El usuario sólo debe basarse en el informe de riesgo sísmico a la fecha en la que dicha evaluación fue contratada y con el edificio en el estado que tenía en el momento de la evaluación, tal como está documentado en el informe.

Básicamente, el informe de peligro sísmico contendrá las siguientes informaciones (más detalles en la sección 6.3):

- lista exhaustiva de la documentación usada,
- fuentes de información,
- descripción clara de la evaluación y representación del riesgo sísmico,
- presentación de las bases técnicas que llevan a las conclusiones,
- nombres de las personas involucradas en todas las etapas del estudio, con sus calificaciones y experiencia.

4.3.2. Contenido del informe de riesgo sísmico

El reporte deberá incluir documentación (por ejemplo, referencias, fotografías, informes de laboratorio, etc.) que sirvan de soporte de los análisis, opiniones y conclusiones que se encuentren en el informe.

Todas las fuentes de información deberán ser suficientemente documentadas para facilitar el que puedan ser referenciadas o re-observadas en una fecha posterior.

El informe deberá describir claramente cómo el riesgo sísmico ha sido evaluado y representado, las suposiciones hechas en la evaluación del riesgo sísmico que puedan influenciar en los resultados sustancialmente y qué nivel cuantitativo de todas las incertidumbres existen en los resultados.

El informe deberá presentar las bases técnicas para las conclusiones a las que se ha llegado y deberá además proveer todos los detalles técnicos de los métodos y procedimientos usados para determinar los valores de pérdida con suficiente detalle, de manera que un par revisor pueda validar cuan adecuadas han sido las decisiones técnicas y procedimientos usados.

El informe deberá contener los nombres de las personas involucradas en todas las etapas del estudio, con sus calificaciones y experiencia en inspección, evaluación de desempeño y riesgo sísmico en estructuras.

El informe deberá contener una declaración indicando quién podrá utilizar o contar con los resultados y conclusiones del estudio.

El informe deberá contener una declaración que indique los niveles de investigación, que de acuerdo a esta norma, han sido implementados para cada evaluación reportada. Todas las enmendaduras, omisiones o desviaciones de esta norma, de haberlas y todas las adiciones, de haberlas, deberán ser listadas individualmente y en detalle.

5. Evaluaciones del riesgo sísmico

Los requerimientos mínimos para la evaluación son expuestos en la sección 3.7.

5.1. 5 tipos de investigaciones

a. Estabilidad del Edificio y Desempeño Sísmico (BS)

Evaluación del desempeño sísmico y de la estabilidad del edificio.

b. Estabilidad del sitio (SS)

Evaluación de la estabilidad del sitio por fallas, licuefacción del suelo, deslizamientos de tierra, u otra respuesta in situ que pudiera amenazar la estabilidad del edificio o causar daños durante un sismo.

c. Riesgo sísmico en el edificio (BD)

Evaluación de la vulnerabilidad y pérdidas que se podrían producir en un edificio o grupo de edificios por el peligro sísmico existente en el sitio de emplazamiento de las estructuras. La evaluación incluye el cálculo de pérdidas para un escenario específico (SL), pérdida probable (PL), pérdida anualizada promedio (AAL) o todas las anteriores.

d. Vulnerabilidad y pérdidas en el contenido (CD)

Evaluación de la vulnerabilidad y pérdidas en el contenido del edificio.

e. Tiempo de Interrupción (BI)

Evaluación de las pérdidas por interrupción o uso parcial del edificio.

5.2. Inspección y evaluación rápida de estructuras

Este procedimiento se deberá aplicar para identificar, inventariar y clasificar las estructuras de acuerdo a indicadores visuales de riesgo sísmico. Al tratarse de un procedimiento sencillo, podrá ser usado por los diseñadores, constructores, inspectores municipales y estudiantes de ingeniería y arquitectura debidamente entrenados.

El uso de este sistema es particularmente apropiado, en estudios de riesgo sísmico a nivel urbano o regional (véase en la sección 5.6), para identificar aquellas estructuras que necesitan de una evaluación estructural a detalle mediante los métodos que se presentan en [FEMA 154](#), las metodologías publicadas por el Grupo Nacional de Defensa para los Sismos, Italia (GNDT), u otros que sean apropiados.

5.3. Evaluación de la estabilidad y desempeño sísmico del edificio (BS)

El objetivo de la evaluación BS es determinar el nivel de desempeño sísmico de la estructura, incluyendo la verificación de si el edificio puede permanecer estable durante y luego de ocurrido un sismo.

Un grupo de edificios deberá considerarse estable si cada uno de los edificios del grupo se considera estable.

Existen tres niveles de investigación en la evaluación de estabilidad de edificios: BS1, BS2 y BS3 (del nivel de incertidumbre mayor al menor del resultado).

El nivel de evaluación de desempeño y estabilidad del edificio deberá ser el mismo que el usado para la evaluación de la vulnerabilidad y pérdidas en el edificio, si es que este análisis es requerido por el usuario.

5.3.1. Nivel BS1 de investigación

Un Nivel BS1 de investigación tiene una alta incertidumbre inherente en el resultado.

Esta investigación deberá consistir de, pero no será limitada a lo siguiente:

- Determinación de los sistemas del edificio que resisten las cargas verticales y laterales revisando los documentos de construcción o las inspecciones visuales del edificio, de no haber documentos disponibles. Cuando la documentación no esté disponible para su revisión, el año de construcción en el cual el edificio fue diseñado deberá ser estimado, así como el código o norma de construcción que se usó en ese tiempo (véase punto siguiente).
- Determinación del código de construcción aplicable que regía en el tiempo que se realizó la construcción y las prácticas profesionales seguidas durante la construcción.
- Consideración especial se deberá tener a cualquier condición irregular que pueda crear inestabilidades como pisos débiles, columnas restringidas por pisos inclinados, o paneles de pared rígidos, elementos no arriostrados y materiales y sistemas potencialmente frágiles como mampostería no reforzada, elementos de concreto prefabricados, etc.
- En este nivel de investigación se debe aplicar la sección 5.2.

5.3.2. Nivel BS2 de investigación

En adición a los contenidos del Nivel BS1, esta investigación deberá consistir de - más no será limitada - a lo siguiente:

- Identificación de la existencia de cualquier problema estructural conocido como piso débil, columnas rígidas en pisos inclinados, elementos no arriostrados, muros de cortante discontinuos, o detalles y conexiones que tienen un potencial para causar inestabilidad en todo o en parte del edificio si el nivel de sismo o de desplazamientos entre pisos ocurre. La evaluación deberá incluir asuntos de inestabilidad como condiciones de columna débil-viga fuerte en marcos rígidos, miembros arriostrados y sus conexiones y la habilidad de elementos que soportan cargas de gravedad (estructurales o no estructurales) que son parte o no del sistema que resiste cargas laterales de tolerar efectos de la distorsión de entrepiso esperada con la máxima respuesta debida al sismo.
- Como herramienta para la ejecución de este nivel de investigación se puede revisar los listados de deficiencias estructurales listadas en [ASCE 31](#) (o [FEMA 310](#))

5.3.3. Nivel BS3 de investigación

El conocimiento adquirido del edificio dado por el Nivel BS3 de investigación puede incrementar el nivel de confianza del profesional con relación al adquirido en el Nivel de Investigación BS2 hasta un nivel de incertidumbre relativamente bajo.

En adición a los contenidos del Nivel BS2, esta investigación deberá consistir de - más no será limitada - a lo siguiente:

- Revisión de los documentos originales de construcción del edificio o, si estos no están disponibles, dibujos con medidas caracterizarán el sistema estructural, incluyendo tanto la construcción original y cualquier modificación que haya ocurrido subsecuentemente.
- Estudio detallado de los efectos de sitio en la amplificación de la amenaza sísmica en roca.
- Ensayos no destructivos de los elementos del edificio pueden ser realizados para establecer de manera general el tipo, construcción y condición de los materiales.
- Aplicación de los procedimientos descritos en la sección [3.4](#), Rehabilitación Sísmica de Edificios, para evaluar el desempeño sísmico del edificio y su estabilidad.

5.4. Evaluación de la estabilidad del sitio (SS)

El objetivo de la evaluación de la estabilidad de sitio SS es determinar si el edificio está localizado en un sitio que puede ser sujeto de inestabilidad debido a sismos inducidos por rupturas de falla superficial, licuación de suelos, hundimiento, asentamiento, deslizamiento, tsunami, seiches, etc. Lo siguiente deberá ser determinado:

- Zona de falla sísmica activa. Si el edificio está localizado dentro de una zona de falla determinada y generalmente reconocida como una falla sísmica activa como la identifica cualquier agencia federal, estatal o local, u otra fuente autorizada.
- Zona de falla sísmica potencialmente activa. Si el edificio está localizado dentro de una zona de falla determinada y generalmente reconocida como una falla sísmica potencialmente activa como la identifica cualquier agencia, nacional, provincial u otra fuente autorizada.
- Otros peligros sísmicos significativos. Si el edificio está localizado tal que su exposición para otros peligros sísmicos parece significativa, incluyendo, pero no limitado a: licuación del suelo, deslizamiento, deformación del terreno, inundación debido a fallas en diques o represas, tsunamis, seiche. La importancia de estos peligros será evaluada asumiendo la ocurrencia de sismos cuyo movimiento del terreno es comparable con el del sismo de diseño u otro evento sísmico prescrito por el usuario.

5.4.1. Nivel SS1 de investigación

Un nivel de investigación SS1 tiene alta incertidumbre en el resultado.

Deberá consistir de - pero no será limitado a - lo siguiente:

- Determinación de las condiciones del sitio de reportes y mapas publicados y disponibles, con códigos para áreas de susceptibilidad así como mapas que identifican las áreas con susceptibilidad al peligro sísmico, establecidas tal vez por códigos postales, ubicación geográfica u otro sistema.
- Determinación de si el área donde el sitio está localizado tiene susceptibilidad a ruptura de la falla, licuación de suelos, hundimiento, asentamiento, o deslizamiento de estudios disponibles o de reportes geotécnicos del sitio.
- Determinación de si el sitio es susceptible a inundación por tsunami o si el sitio está localizado cerca de un cuerpo de agua que sea susceptible a un seiche causado por un sismo o localizado cerca de un dique, cuya ruptura podría causar que las ondas del agua impacten la propiedad.

5.4.2. Nivel SS2 de investigación

El conocimiento adquirido del peligro de sitio dado por el Nivel SS2 de investigación incrementará el nivel de confianza sobre uno de investigación SS1 hasta un nivel que es moderado. Deberá constar de - pero no estará limitado - a lo siguiente:

- Revisión del informe geotécnico y evaluación de la estabilidad de sitio potencial basada en la información existente relativa a este sitio. Además, se deberá realizar una evaluación del

grado de estabilidad prevista del sitio y sus implicaciones para daños en el edificio. De no haber reportes geológicos disponibles, entonces una investigación específica del sitio es requerida para determinar las condiciones del suelo.

- Si una posible inestabilidad del sitio es esperada, se determinará si el edificio está en riesgo de daño significativo debido a fallas esperadas del sitio.

5.4.3. Nivel SS3 de investigación

El Nivel SS3 de investigación incrementa el Nivel de confianza al más alto nivel que se puede alcanzar sin una investigación de sitio extensiva. Deberá constar de - pero no estará limitado a - lo siguiente:

- El desarrollo de una evaluación de la respuesta de un sitio específico, debe cumplir con los con las disposiciones de la [NEC-SE-DS](#).
- Si existe la posibilidad de inestabilidad del sitio, se determinará si el edificio está en riesgo de daño.

5.5. Evaluación del riesgo sísmico en el edificio (BD)

El objetivo de la evaluación del riesgo sísmico BD es cuantificar las pérdidas económicas por la ocurrencia de sismos y otros posibles peligros sísmicos como sea prescrito por el usuario por medio del análisis de ingeniería y evaluación de las características de vulnerabilidad del edificio a determinados niveles de sismos.

El riesgo sísmico podrá ser expresado mediante:

- un escenario de pérdidas (SL),
- la pérdida probable (PL),
- la Pérdida Anualizada Promedio (AAL).

Los resultados podrán ser reportados tanto para la media de valores o para un determinado nivel de confianza.

Funciones de vulnerabilidad para el edificio pueden ser determinadas de:

- datos de desempeño pasados,
- estimaciones de desempeño realizadas por expertos,
- análisis detallado a niveles específicos de sismo,
- o una combinación de éstas.

5.5.1. Escenarios de pérdidas (SL, PL, AAL)

a. Cálculo de la pérdida escenario (SL)

El sismo usado para plantear el escenario de pérdida puede ser especificado en una variedad de maneras, incluyendo:

- Máximo sismo probable ($T_r=2500$ años) para el sitio de construcción.
- Sismo de diseño ($T_r=475$ años)

Valores de SL para grupos de edificios deberán ser determinados de una manera estadísticamente consistente que reconozca completamente las funciones de distribución de daño probabilístico para cada edificio por individual y las posibles correlaciones entre la vulnerabilidad de edificios.

Valores de SL pueden ser dados como (véase en la sección 1.1):

- Valores SEL (Pérdida Escenario Esperada),
- Valores (SUL) (Pérdida Escenario para un 90% de nivel de confianza),
- Promedio más una desviación estándar,
- Funciones de distribución de probabilidad y/o
- Valores con una probabilidad de excedencia.

Cuando los edificios de un grupo se encuentren localizados en sitios cercanos con comunes condiciones de suelo y sismos esperados, los sismos para la determinación de la vulnerabilidad de cada edificio podrán estar completamente correlacionados de tal manera como las distribuciones de vulnerabilidad están basadas en los mismos sismos.

Cuando los sitios estén geográficamente dispersos, o las condiciones del suelo del sitio de la construcción sean diferentes, entonces las determinaciones de vulnerabilidad del edificio deberán considerar el grado de correlación en sismos para las condiciones de sitio por separado como parte de la determinación del SL.

b. Estudios de pérdida probable (PL)

Las estimaciones de Pérdida Probable deberán ser evaluadas en una manera consistentemente estadística, considerando la distribución probabilística de sismos en el sitio de todos los sismos posibles que puedan impactar en el sitio y la función de distribución probabilística de daño, de acuerdo a la vulnerabilidad del edificio a cada nivel posible de sismo. Donde muchos edificios sean evaluados, los valores de *PL* para un grupo de edificios deberán ser determinados en una forma consistentemente estadística que reconozca las funciones de distribución probabilísticas de daño para cada edificio por individual y las posibles correlaciones entre la vulnerabilidad de los edificios.

Valores de PL son dados tanto como para un período de retorno especificado, o con una específica probabilidad de excedencia en período de retorno dado, de acuerdo con la [Tabla 2](#).

Para más detalles, véase en la sección 3.3.

c. Estudios de pérdida anualizada promedio (AAL)

La pérdida anualizada promedio como valor absoluto o normalizado con respecto al costo de reposición, es el promedio anual del costo a largo plazo de los sismos en una región geográfica o en una estructura en particular.

El riesgo sísmico cuantificado como pérdida anualizada promedio, permite contrastar el costo de los sismos con el de otros desastres naturales que ocurren con mayor frecuencia a fin de definir políticas de Gestión de Riesgo.

El cálculo de la pérdida anualizada requiere el cálculo de la pérdida probable PL para al menos 8 niveles de amenaza sísmica y la integración numérica sobre el rango de frecuencia anual de excedencia.

5.5.2. Niveles de investigación del riesgo sísmico en edificios

Existen tres niveles de investigación en la evaluación de riesgo sísmico. Estos son descritos como Nivel BD1, Nivel BD2 y Nivel BD3. Estos niveles deben aplicarse en adición y como complemento al nivel correspondiente de Investigación de Estabilidad y Desempeño Sísmico (BS).

a. Nivel BD1 de investigación

Un Nivel BD1 de investigación tiene una incertidumbre moderada inherente en su resultado.

Una investigación BD1 deberá consistir, pero no estará limitada a:

- Investigación BS1 y SS1.
- Determinación de valores de SL o PL de tablas o procedimientos equivalentes para un tipo de edificio básico; posiblemente completado con la ayuda de un programa de computación interactivo, pero no sólo sobre esa base. El razonamiento para aceptación o ajustes para valores determinados de esta manera deberán ser documentados.

b. Nivel BD2 de investigación

Un Nivel de investigación BD2 tiene una moderada y baja incertidumbre.

Una investigación BD2 deberá consistir, pero no estará limitada a:

- Investigación BS2 y SS2.
- Estimación del daño en todos los sistemas del edificio y mejoras en el sitio por medio de una representación de cada uno de los posibles niveles de sismos en el sitio y computando los valores de SL o PL reflejando las distribuciones de estos sismos.
- Se desarrollará un modelo computacional de la estructura capaz de simular los efectos de la amenaza sísmica en el sitio en los componentes de la estructura. Valores de PL o SL no serán determinados de tablas o procedimientos equivalentes para un tipo de edificio genérico.

c. Nivel BD3 de investigación

Con un Nivel BD3 de investigación, el desempeño sísmico del edificio se espera sea caracterizado con una incertidumbre mínima.

Una investigación BD3 deberá consistir, pero no estará limitada a:

- Investigación BS3 y SS3.
- Cálculo de la Pérdida Anualizada Promedio (AAL), de acuerdo a la metodología probabilística de [PEER](#) o [ATC-58](#).
- El usuario deberá considerar implementar el proceso de revisión por un par independiente para asegurarse de un desarrollo técnico apropiado.

5.5.3. Evaluación de las pérdidas en el contenido del edificio (CD)

Cuando así sea requerido por el usuario, esta evaluación debe hacerse a la par de la evaluación del riesgo del edificio, en correspondencia a los niveles de investigación BD1-BD3.

La metodología [ATC-58](#) ofrece una guía para este tipo de evaluación

5.5.4. Evaluación del tiempo de interrupción (BI)

El objetivo del análisis de tiempo de interrupción es cuantificar las pérdidas económicas causadas por la paralización o prestación parcial de los servicios que brindaba un edificio a su propietario.

Cuando esta evaluación sea requerida por el usuario, se ejecutará como parte del Nivel BD3 de evaluación de riesgo sísmico. Una guía para la ejecución de esta evaluación puede encontrarse en [ATC-58](#).

5.6. Evaluación del riesgo sísmico a nivel nacional, regional o urbano

Cuando la vulnerabilidad se estudia a nivel regional o urbano, las funciones de vulnerabilidad o matrices de vulnerabilidad (funciones discretas) se desarrollan para cada tipología estructural en base a:

- observaciones de daños ocurridos en sismos pasados,
- criterio de expertos,
- simulación de los efectos de sismos sobre modelos estocásticos representativos de la tipología estructural,
- o una combinación de las anteriores.

5.6.1. Propósito

A nivel nacional regional o urbano, el riesgo sísmico se calcula con los siguientes propósitos:

- Identificar sectores de la población en alto riesgo,
- Cuantificar el costo de los sismos y su impacto en la economía,
- Contrastar el costo de los sismos con el de otros desastres naturales que ocurren con mayor frecuencia a fin de definir políticas de Gestión y Mitigación de Riesgo,
- Calibrar y mejorar los métodos de diseño sismo-resistente.

5.6.2. Metodología

Los estudios de riesgo sísmico deben efectuarse de acuerdo a las metodologías aceptadas internacionalmente, tales como GEM (Global Earthquake Model), Hazuz o CAPRA.

La ejecución de un estudio de riesgo sísmico debe incluir al menos los siguientes componentes:

- Inventario geo-referenciado de las edificaciones y otras estructuras,
- Análisis de peligro sísmico en la zona de estudio,
- Análisis de vulnerabilidad y daño,
- Análisis de consecuencias económicas y sociales.

El riesgo sísmico debe evaluarse en forma probabilística para todos los sismos posibles, lo cual permite el cálculo de la pérdida anualizada promedio (AAL).

6. Estrategias de rehabilitación

6.1. Líneas principales de rehabilitación

El objetivo de rehabilitación debe ser alcanzado mediante la implementación de medidas de rehabilitación basadas en una estrategia para solventar las deficiencias identificadas en la etapa de levantamiento de información (4). Cada medida implementada para rehabilitar debe ser evaluada en conjunto con otras medidas y la estructura en su conjunto para asegurar que el escenario completo de rehabilitación alcance el objetivo de desempeño. Los efectos de la rehabilitación en la rigidez, resistencia y deformabilidad deberán tomarse en cuenta en el modelo analítico de la estructura rehabilitada. La compatibilidad entre componentes nuevos y existentes deberá verificarse al nivel de desplazamientos demandado en el nivel de amenaza sísmica seleccionada para el análisis.

Una o más de las siguientes estrategias de rehabilitación se permitirán como medidas para la rehabilitación sísmica:

- Modificación local de componentes.
- Remoción o reducción de irregularidades.
- Rigidizamiento global de la estructura.
- Reforzamiento global de la estructura.
- Reducción de masa.
- Aislamiento sísmico.
- Incorporación de disipadores de energía.

El usuario deberá consultar los “Métodos y Estrategias de Rehabilitación” que se proponen en la [NEC-SE-DS](#) y en el [capítulo 10 del ASCE 41-06 y del FEMA 356](#).

6.2. Diseño de nuevos elementos

El diseño de nuevos elementos que se adicionen a la estructura, dentro de la estrategia de rehabilitación (véase en la sección [6](#)), deberán diseñarse de acuerdo a [ASCE 41](#).

6.3. Memoria de diseño y rehabilitación

La memoria de rehabilitación deberá incluir/

- una descripción de la estructura,
- su configuración,
- sus deficiencias,

- las estrategias de rehabilitación aplicadas,
- una descripción del modelo no-lineal generado,
- las propiedades de los materiales y las curvas momento-curvatura, momento-rotación o modelos histeréticos utilizados,
- las cargas y combinaciones de cargas consideradas,
- el proceso de análisis,
- los criterios de aceptación,
- el cumplimiento estructural.

7. Esquema conceptual de la NEC-SE-RE

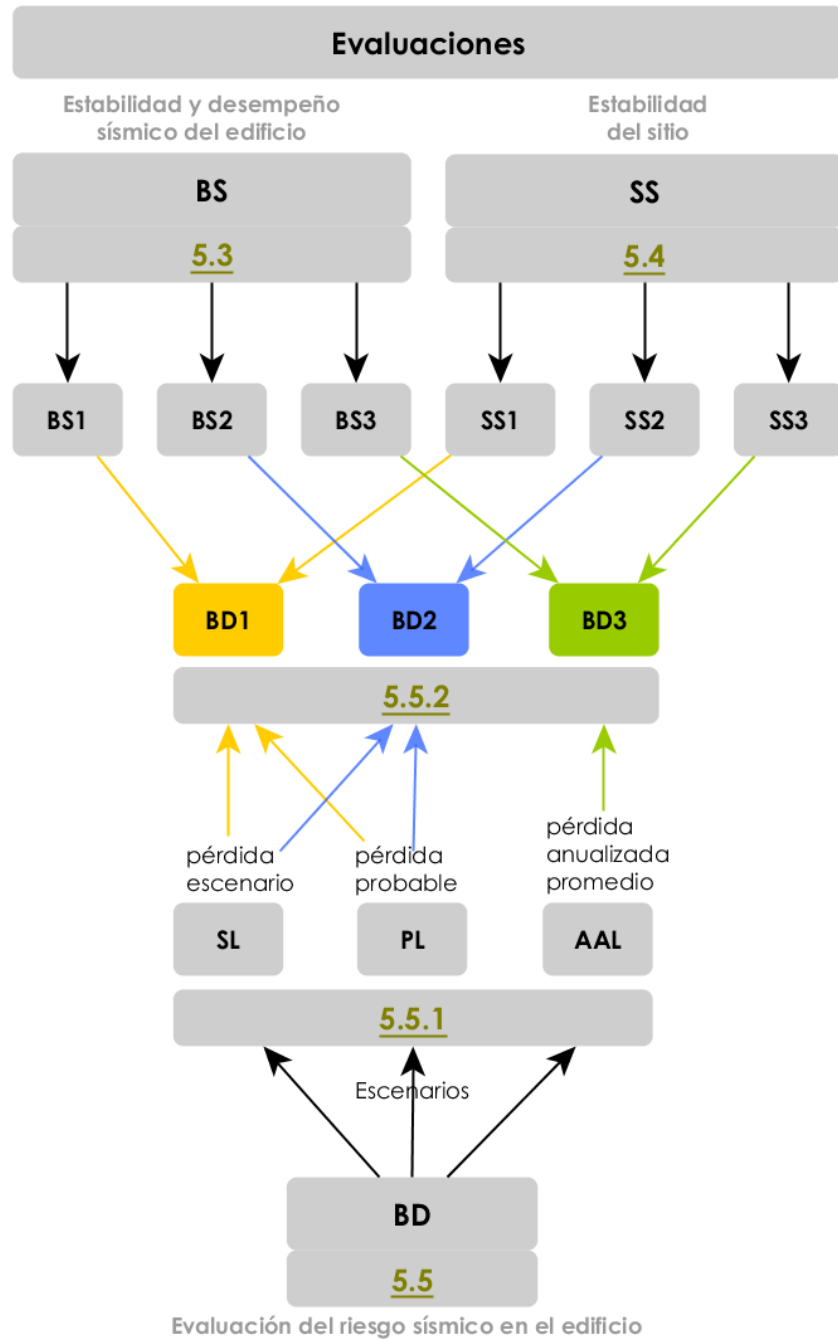


Figura 2: Esquema conceptual simplificado de evaluación sísmica de la NEC-SE-RE

Donde:

Investigaciones:

BD Riesgo sísmico en el edificio

BS Estabilidad del Edificio y Desempeño Sísmico

SS Estabilidad del sitio

Escenarios de pérdidas:

AAL Estudios de pérdida anualizada promedio

PL Estudios de pérdida probable

SL Cálculo de la pérdida escenario