

## **ANEXO 2: LINEAMIENTOS DE EVALUACIÓN DE RIESGO SÍSMICO Y DISEÑO DE REHABILITACIÓN DE INFRAESTRUCTURA, EDIFICACIONES Y CONSTRUCCIONES EXISTENTES**

### **1. Criterios técnicos.**

Con base a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC capítulo Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras – NEC-SE-RE, literal 5.- “Evaluación del Riesgo Sísmico en Edificios” la evaluación deberá incluir como mínimo:

- a) Evaluación de Estabilidad del Edificio y Desempeño sísmico (BS): Evaluación del desempeño sísmico y la estabilidad del edificio;
- b) Evaluación de la 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 terremoto;
- c) Procedimientos para determinar el número de ensayos;
- d) Procedimientos de realización de ensayos; y,
- e) Los procedimientos para la evaluación y el diseño de rehabilitación estructural se realizarán conforme a las recomendaciones del estándar ASCE 31 (o FEMA 310) que consta en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC capítulo Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras – NEC-SE-RE, actualmente la ASCE41-17, normas técnicas ASTM y normas técnicas INEN equivalentes.

### **2. Evaluación de Estabilidad del Edificio y Desempeño sísmico (BS).**

Se deberá emplear como mínimo un nivel BS1 de investigación en caso de que existan tanto planos estructurales como arquitectónicos y que durante la construcción haya existido un proceso de fiscalización, con su respectiva documentación de respaldo. En caso de que no exista registro de planos estructurales o registro de fiscalización, se implementará un nivel de investigación BS3.

**Nivel BS1 de investigación:** Esta investigación deberá consistir como mínimo de:

- a) 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. Donde 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.
- b) Determinación del código de construcción aplicable que regía en el tiempo que se realizó la construcción y las prácticas profesionales seguidas durante la construcción.
- c) 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 concretos prefabricados, etc.

**Nivel BS2 de investigación:** En adición a los contenidos del Nivel BS1, esta investigación deberá consistir de - más no será limitada - a lo siguiente:

- a) 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.
- b) 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), actualmente la ASCE41-17.

**Nivel BS3 de investigación:** en adición a los contenidos del Nivel BS2, esta investigación deberá consistir como mínimo de lo que sigue:

- a) Revisión de los documentos referentes a autorizaciones de construcción y sus anexos como estudios de diseño, planos de diseño, planos as built, o, si estos no están disponibles, se levantarán dibujos con medidas caracterizarán el sistema estructural, incluyendo tanto la construcción original y cualquier modificación que haya ocurrido subsecuentemente.
- b) Estudio detallado de los efectos de sitio en la amplificación de la amenaza sísmica en roca.
- c) Ensayos destructivos y no destructivos de los elementos del edificio pueden ser realizados para establecer de manera general el tipo, construcción y condición de los materiales. Por ejemplo, se extraerá muestras aleatorias de los materiales estructurales que permitan la calibración de los ensayos no estructurales para determinar las características físico-mecánicas de los materiales.
- d) Ensayos con acelerómetros para determinar el periodo de vibración de la estructura y evaluar su nivel de afectación y relación T/H (Periodo fundamental/Altura de la Edificación)

Los ensayos que se realicen para determinar las propiedades físico-mecánicas de los materiales deberán ser realizados por:

1. Laboratorios acreditados o designados, de no existir o ser complicado el acceso, se continuaría con el siguiente punto.

2. Laboratorios de entidades gubernamentales, Universidades, GAD municipales y metropolitanos, entre otros, de no existir o ser complicado el acceso se continuaría con el siguiente punto.
3. Laboratorios públicos o privados que cuenten con personal calificado, y equipamiento calibrado por un organismo evaluador de la conformidad o por el SAE.

En los dos niveles de investigación se deberá incluir los estudios mínimos de materiales para estimar el tiempo de vida restante de la estructura.

### 3. Objetivos de desempeño para evaluación y rehabilitación

Los objetivos de desempeño corresponden a un nivel o un par de nivel de terremotos (nivel de amenaza sísmica), con uno o un par de los niveles de desempeño esperados en la edificación como se ejemplifica en la tabla 1.

		NIVEL DE DESEMPEÑO			
		Nivel Operacional (1-A)	Nivel de Ocupación Inmediata (1-B)	Nivel de Seguridad de Vida (3-C)	Nivel de Prevención al Colapso (5-D)
<b>NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA</b>	50% en 50 años	a	b	c	d
	BSE-1E	e	f	g	h
	20% en 50 años				
	BSE-2E	i	j	k	l
	5% en 50 años				
	BSE-2N	m	n	o	p
	2% en 50 años				

Tabla 1. Resumen de Niveles de desempeño y Niveles de Amenaza sísmica

Los objetivos de desempeño mínimos recomendados para las estructuras según su nivel de importancia se resumen en la tabla 2:

	Importancia NEC-15	Objetivos de desempeño	
<b>Objetivo Elevado</b>	Edificaciones Esenciales	e	j
<b>Objetivos de Desempeño Mínimo</b>	Edificaciones Esenciales	f	k
	Estructuras de ocupación Especial	g	l
	Otras estructuras / >300 personas	l	

Tabla 2. Resumen de Objetivos mínimos de desempeño según Importancia o Categoría de riesgo

Es posible seleccionar objetivos de desempeño superiores a los recomendados si el propietario o la autoridad competente del GAD Municipal o Metropolitano o del Gobierno Central requiere. No es recomendable seleccionar objetivos de desempeño menores a los indicados.

### **3.1. Objetivo de desempeño elevado para Estructuras Determinadas como Operacional:**

Los GAD municipales y metropolitanos y el Gobierno Central deberán establecer las edificaciones que deban cumplir con un Nivel Operacional (1-A) para un sismo con 20% de probabilidad de excedencia en 50 años y Nivel de Ocupación Inmediata (1-B) para un sismo de 5% de probabilidad de excedencia en 50 años.

### **3.2. Objetivo mínimo de desempeño de Estructuras Esenciales:**

Nivel de Ocupación Inmediata (1-B) para un sismo con 20% de probabilidad de excedencia en 50 años y Nivel de seguridad de vida (3-D) para un sismo de 5% de probabilidad de excedencia en 50 años.

### **3.3. Objetivo mínimo de desempeño de Estructuras de ocupación especial:**

Nivel de Control de daños (3-C) para un sismo con 20% de probabilidad de excedencia en 50 años y Nivel de seguridad de vida (5-D) para un sismo de 5% de probabilidad de excedencia en 50 años.

### **3.4. Objetivo mínimo de desempeño de Otras Estructuras que alberguen a más de 300 personas:**

Nivel de Prevención de Colapso (5-D) para un sismo de 5% de probabilidad de excedencia en 50 años.

## **4. Nivel de amenaza sísmica**

Para determinar el nivel de amenaza, se podrán utilizar las curvas de peligro sísmico existente en la norma vigente y extrapolar valores o realizar un estudio de peligrosidad sísmica de ser el caso probabilístico o determinístico.

## **5. Evaluación de elementos estructurales y componentes no estructurales**

La evaluación de los niveles de desempeño establecidos para cada categoría de edificación deberá realizarse a nivel de los elementos estructurales y no estructurales. Para determinar el nivel de amenaza, se podrán utilizar las curvas de peligro sísmico existente en la norma vigente o realizar un estudio de peligrosidad sísmica de ser el caso probabilístico o determinístico.

La evaluación del desempeño de los componentes no estructurales podrá ser revisada y modificada por parte de los GAD municipales y metropolitanos siguiendo las sugerencias de la ASCE 41 vigente (ASCE 41-17 tabla C2-8) y como mínimo siempre incluir el nivel de desempeño N-D para mamposterías. Se podrá seguir los lineamientos establecidos en la FEMA E-74 para la reducción de daño en elementos no estructurales.

## **6. Modelación estructural, para la modelación de las edificaciones durante la fase de evaluación y rehabilitación.**

1. Se podrán utilizar los siguientes métodos de análisis estructural siguiendo las recomendaciones y limitaciones establecidas en el ASCE 41 vigente (ASCE 41-17 sec.7.3.1.1).
  - a) Análisis Estático Lineal
  - b) Análisis Dinámico Lineal
  - c) Análisis Estático No Lineal
  - d) Análisis Dinámico No Lineal.
2. Se deberá cumplir con las condiciones y combinaciones de carga sísmica establecidas en la NEC-SE-RE, así como los factores para la determinación de la capacidad de los elementos estructurales de acuerdo a lo establecido en la norma ASCE-41, para las cargas no sísmicas se deberá analizar que la estructura soporte las combinaciones de carga establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC capítulo Cargas (No Sísmicas) – NEC-SE-CG.

## **7. Evaluación de Estabilidad del Sitio (SS)**

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

Se deberá emplear un nivel SS1 de investigación en caso de que exista información o estudios disponibles del sitio. En caso de que no exista información del sitio se recomienda implementar un nivel de investigación SS2 de acuerdo a lo establecido en la NEC-SE-RE.

### **7.1. Revisión de ensayos y estudios de evaluación.**

El Gobierno Autónomo Descentralizado Metropolitano o Municipal deberá establecer los procedimientos y las entidades que deberán realizar la revisión de los ensayos.

Se deberá implementar un procedimiento de revisión por pares para la revisión de los estudios de evaluación y rehabilitación, se deberá hacer énfasis en alianzas con Universidades o entidades establecidas para este fin y se velará por que no exista conflictos de interés en estos procesos.

## **8. Productos de la evaluación sísmica**

Los productos entregados para la evaluación de la estructura deberán incluir como mínimo:

- a) Estudio Geotécnico y de Mecánica de Suelos detallado del sitio, que certifique la categorización y tipo de suelo, capacidad portante, resistencia al corte, criterios de cimentación, nivel freático, análisis dinámico del suelo entre otros parámetros importantes para la evaluación del Espectro Elástico de Diseño Sismo Resistente de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-2015. Determinar el periodo fundamental del suelo.
- b) Levantamiento Geométrico – Estructural de la edificación, para verificar las dimensiones de todos los elementos estructurales existentes que componen la estructura y generar los planos de la ingeniería de detalle.
- c) Ensayos con acelerómetros para determinar el periodo de vibración de la estructura y evaluar su nivel de afectación y relación T/H (Periodo fundamental/altura del Edificio).
- d) Estudio de laboratorio: ensayos de patologías, ensayos destructivos y no destructivos de los materiales de construcción. Por ejemplo, en el caso de hormigón armado se deberá incluir, análisis de fisuras, grietas, porosidad y desgaste, profundidad de carbonatación, estudio de ultrasonido, recubrimientos, oxidación, escaneo estructural, PH del hormigón y todos los necesarios para poder certificar los parámetros físicos y mecánicos actuales de los materiales con los cuales fue construido el edificio.
- e) Descripción del proceso de análisis, criterios de aceptación y su cumplimiento siguiendo las recomendaciones del ASCE 41 vigente. Por ejemplo, descripción del análisis estructural mediante el uso de modelos matemáticos que permiten verificar que las dimensiones de las secciones, cuantías de acero de refuerzo, características físicas y mecánicas de los materiales de construcción, tipo suelo, factores de amplificación, entre otros; pueden representar de la mejor manera posible la aceptación o no de la estructura y el estado actual de la edificación.

## **9. Productos del diseño de rehabilitación sísmica**

Los productos entregados para el diseño de rehabilitación de la estructura deberán incluir como mínimo:

- a) Incluir productos de la evaluación sísmica y la comparación con el diseño de rehabilitación.
- b) Descripción del proceso de análisis, técnica de rehabilitación implementada, criterios de aceptación y su cumplimiento siguiendo las recomendaciones del ASCE 41 vigente. Por ejemplo, Técnica para rigidizar y aumentar capacidad de resistencia lateral por medio de muros de corte.

- c) Planos estructurales de la rehabilitación y/o reforzamiento estructural y no estructural.
- d) Especificaciones técnicas de los rubros del reforzamiento y/o rehabilitación estructural y no estructural.
- e) Presupuesto referencial con su respectivo análisis de precios unitarios. que indique el costo de rehabilitación y/o reforzamiento y costo de derrocamiento, el mismo que permita determinar al evaluador la relación Beneficio/Costo y definir si se la declara en ruina o se procede al reforzamiento.
- f) Cronograma valorado de ejecución de actividades.
- g) Especificaciones Técnicas.