Instituto de la Construcción

OBJETIVOS DE DESEMPEÑO SÍSMICO PARA EDIFICACIONES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Versión 1

4° Jornada Proyecto "Elaboración Colaborativa del Código Modelo Sísmico Para América Latina Y El Caribe"
Ciudad de Panamá – Panamá – Agosto 2019

Preámbulo

El presente documento denominado **“Objetivos de Desempeño para Obras de América Latina y El Caribe”**, se basa en la recopilación la información y el estado del arte en la región en esta materia, realizado por el Subcomité Chileno, con el objetivo de avanzar en un lenguaje común considerando las realidades sísmicas, económicas y técnicas de los países de América Latina y El Caribe.

Esta instancia de colaboración nace como parte de los acuerdos de la 2° Jornada de Elaboración Colaborativa del Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y el Caribe, efectuada en San José, Costa Rica durante los días 19 y 20 de julio de 2018, y para llevar a cabo este compromiso, se crea un subcomité en Chile presidido por el señor Jorge Carvallo (Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica – Achisina - PUCV), contando como vicepresidente a Hernán Santa María (Pontificia Universidad Católica - PUC)

Participaron en algún momento en el comité las siguientes personas e instituciones:

NOMBRE	INSTITUCIÓN
Jorge Carvallo (presidente)	Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica – Achisina - PUCV
Hernán Santa María (vicepresidente)	Pontificia Universidad Católica - PUC
Rodolfo Saragoni	Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica – Achisina
Cristian Delporte	Asociación de Ingenieros Civiles - AICE
Rodrigo Mujica	Colegio de Ingenieros
Cristina Barría	MINVU – Ditec
Carl Lüders	Sirve S.A.
Francisco Ruz	Sociedad Chilena de Geotecnia – Sochige
Isabel García	Universidad Central
Mario Lafontaine	Rene Lagos Engineers
Fabián Rojas	Universidad de Chile
Nicol Díaz	Instituto de la Construcción (Secretaria Técnica)

El primer borrador de este documento fue presentado por el presidente del subcomité chileno en la 3° Jornada de Elaboración Colaborativa del Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y el Caribe, efectuada en Antigua, Guatemala durante los días 27, 28 y 29 de marzo de 2019, donde se recibieron observaciones y complementos, vertidas en la “Versión 1”,que fue aprobada por la comisión permanente del Código Modelo Sísmico para América Latina y El Caribe – CMS AL&EC, durante la 4° Jornada de Elaboración Colaborativa del Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y el Caribe, efectuada en Ciudad de Panamá, Panamá, durante los días 28, 29 y 30 de Agosto de 2019.

Los asistentes de la 4° Jornada de Elaboración Colaborativa del Código Modelo Sísmico para América Latina y el Caribe, fueron los siguientes:

Panamá

- Junta Técnica de Ingeniería y Arquitectura: Rutilio Villarreal, Secretario General; Ernesto NG, Comité Consultivo Permanente del REP.
- Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia: Jaime Toral Boutet, Director Ejecutivo.
- Universidad Tecnológica de Panamá: Ramiro Vargas, Director del Centro Experimental de Ingeniería; José Manuel Gallardo Méndez, Investigador y Docente; Rogelio B. Pittí E., Docente; Román Lorenzo, Jefe de departamento de Mecánica Estructural; Francisco J. Grajales Saavedra, Investigador y Docente;
- Universidad de Panamá: Eric A.Chichaco R., Ingeniero Geólogo; Luis Santamaria Vallejos, Ingeniero Geofísico;
- Comité Reglamento Estructural de Panamá - REP: Luis García Dutari, Comisionado; Antonio Abrego Maloff, Comisionado; Daniel Ulloa, Comisionado; Eduardo Camacho Astigarrabia, Comisionado.
- Sistema Nacional de Protección Civil - SINAPROC: Nilda M. Cortés V., Ingeniera Civil.
- Isthmian Geo Resources Inc. Autoridad del Canal de Panamá EX: Pastora Franceschi Saavedra, Ingeniera en Minas y Geología del Canal.

Bolivia

- Colegio de Ingenieros Civiles de Bolivia: Gabriela Analy Gonzáles Torres y Neiva Pamela Baldiviezo Peñaranda.

Chile

- Ministerio de Vivienda y Urbanismo: Marcelo Soto, Jefe del departamento Tecnologías de la Construcción.
- Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales: Ian Watt, Secretario.
- Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica: Rodolfo Saragoni, Presidente; Jorge Carvallo, Director.
- Instituto de la Construcción: José Pedro Campos, Director Ejecutivo; Nicol Díaz, Secretaria Técnica.

Colombia

- Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Civil: Alvaro Viviescas Jaimes; Luis Eduardo Zapata y Gustavo Chio Cho.

Costa Rica

- Comisión Permanente Código Sísmico de Costa Rica: Miguel Cruz, Presidente; Javier Cartín, Vicepresidente; Johnny Bermúdez, Tesorero.
- Universidad de Costa Rica: Diego Hidalgo, Coordinador Laboratorio de Ingeniería Sísmica, Universidad de Costa Rica.

El Salvador

- Ministerio de Obras Públicas y Transportes - MOPT: William Guzmán, Director DACGER.
- Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales – MARN: Luis Ernesto Mixco, Sismólogo.
- Asociación Internacional para la Gestión de Emergencias Latinoamérica & Caribe - AIGELAC: Edwin Portillo, Representante.

Guatemala

- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica – AGIES: Alberto Pérez, Presidente; Byron Paiz, Comité de Normas.

Nicaragua

- Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI: Ileana Silva, Responsable Dirección de Estudios y Normas de la Construcción; Maycol Rugama Idiaquez, Responsable Departamento Estudios y Tecnología en Normas de Construcción.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales - INETER: José Leonardo Álvarez, Asesor en Ciencias de La Tierra.

Santiago, Agosto 2019.

INDICE

Preámbulo 1
Introducción 5
1. Definición de los niveles de movimiento sísmico 6
2. Definición de niveles de Desempeño 9
3. Objetivos de Desempeño 12
4. Criterios de aceptación a nivel global y a nivel local de materiales 15
Referencias 17

Introducción

El objetivo de este documento es la realización de una propuesta de análisis y diseño sísmico basado en desempeño para edificios de América Latina y El Caribe, que permita conocer el desempeño de las estructuras frente a los movimientos sísmicos conocidos o estimados para los diferentes lugares de la región de manera más precisa que los tradicionales modelos lineales usados comúnmente en la región.

El diseño sísmico en el que se basa este documento tiene como objetivo que los edificios resistan los sismos de manera más confiable, requiere una profunda comprensión del riesgo sísmico, del comportamiento de los materiales estructurales y de la respuesta estructural dinámica no lineal.

Este documento pretende ser un apoyo para adecuar el análisis y diseño sísmico a la realidad de cada país, como documento base para el trabajo a desarrollar por el proyecto “Elaboración Colaborativa de Código Modelo de Diseño Sísmico para América Latina y El Caribe”.

Para la elaboración de este documento, el comité revisó la norma ASCE – 41 y el documento de ACHISINA – Chile “Diseño sísmico basado en desempeño, un procedimiento alternativo para el análisis y diseño sísmico de edificios”, además se realizó una consulta de la definición de objetivos de desempeño a los países miembros de la asamblea y se analizaron las normativas por país.

En el documento se intercalan comentarios explicativos en cuadros con fondo oscuro.

Las definiciones y prescripciones contenidas en este documento corresponden a recomendaciones generales consensuadas en este comité, no tienen carácter obligatorio ni vinculan legalmente a sus usuarios. El objetivo de este documento es otorgar una guía y un marco general de definiciones y procedimientos necesarios para el Diseño Basado en Desempeño, de manera que las normas y códigos en cada país de Latinoamérica y El Caribe, tengan un formato y contexto similar, pudiendo adaptarse algunas definiciones particulares de acuerdo a la experiencia local

1. Definición de los niveles de movimiento sísmico

Este capítulo usa varias definiciones probabilísticas para la amenaza símica que perimiten caracterizar el movimiento del suelo producido por el sismo que se usará para la evaluación de cada desempeño definido; también se puede usar una definición determinística de la amenaza en aquellas zonas cercanas a la falla y con mayor certeza de su ocurrencia.

Se definen cuatro Niveles de Movimiento Sísmico para el Diseño, detallados en la Tabla 1;

Nivel 1: **Sismo de Servicio**. Sismo frecuente y de baja intensidad.
Se define como el movimiento sísmico cuya probabilidad de excedencia es de 50% en 30 años, con un período de retorno de 43 años.

Nivel 2: **Sismo Ocasional**. Sismo de mediana intensidad.
Se define como el movimiento sísmico cuya probabilidad de excedencia es de 50% en 50 años, con un período de retorno de 72 años.

Nivel 3: **Sismo de Diseño**. Sismo de intensidad moderada a severa, que se espera que ocurra al menos una vez durante la vida útil de la estructura.
Se define como el movimiento sísmico cuya probabilidad de excedencia es de 10% en 50 años, con un período de retorno de 475 años.

Nivel 4: **Sismo Máximo Considerado.** Sismo de intensidad severa y baja probabilidad de ocurrencia. Corresponde al máximo sismo que se define según el código de diseño sísmico de cada país.
Se define como el movimiento sísmico cuya probabilidad de excedencia es de 10% en 100 años, con un período de retorno de 950 años.

Tabla 1 Definición de Niveles de Movimiento Sísmico

Niveles de Movimiento Sísmico de Diseño	Intervalo de recurrencia	Probabilidad de excedencia
Sismo de Servicio	43 años	50% en 30 años
Sismo Ocasional	72 años	50% en 50 años
Sismo de Diseño	475 años	10% en 50 años
Sismo Máximo Considerado	950 años	10% en 100 años

Usando los criterios que definen la intensidad sísmica para cada nivel, se puede construir el espectro de peligro uniforme (EPU), en el cual la intensidad espectral para cada periodo tiene una probabilidad de excedencia igual (uniforme), según cada uno de los niveles definidos anteriormente. La probabilidad de observar estas amplitudes espectrales en un mismo terremoto es casi nula, por lo que se considera que es un espectro muy conservador (esto ha sido observado en múltiples ocasiones, e.g. Bommer et al., 2000; Naeim y Lew, 1995; Reiter, 1990). A pesar de ser muy conservador, el EPU puede ser usado para generar registros sintéticos y seleccionar registros de aceleración de suelo para su uso en análisis no-lineales tiempo-historia. Adicionalmente, se pueden seleccionar los registros mediante una desagregación de la amenaza sísmica probabilística.

También existe la alternativa de análisis mediante el método determinístico de peligro sísmico, lo que consiste en el análisis de un escenario sísmico en particular. El escenario consiste en la recurrencia de un sismo ocurriendo en una locación especifica. Kramer, 1996, describe el análisis sísmico determinístico como el proceso de cuatro pasos:

1.- Identificación y caracterización de todas las fuentes capaces de producir un registro sísmico considerable.
2.- Calcular la distancia entre la fuente y el sitio de estudio para cada una de las fuentes identificadas.
3.- Seleccionar el evento controlador descrito en términos de magnitud y distancia al sitio.
4.- Se define el peligro sísmico asociado al evento controlador. (PGA, PGV).

Selección de Registros

Para seleccionar los registros de aceleración, primero se debe seleccionar el nivel de demanda sísmica, que define el movimiento de suelo con una cierta probabilidad de excedencia en un intervalo de tiempo. Con la probabilidad de excedencia y el intervalo de tiempo requerido, se procede a la construcción del Espectro de Peligro Uniforme (EPU).

Como mínimo, se sugiere elegir 7 registros de aceleraciones, con sus dos componentes horizontales.

Para sitios que se encuentren a menos de 5 km de la falla que potencialmente pueda tener una ruptura, se recomienda aplicar las componentes de los registros en las direcciones normal y perpendicular a la falla. Esto se sugiere para mantener los efectos de directividad, además de los pulsos de larga duración y amplitud de velocidad en zonas aledañas a fallas corticales.

Algunos de los aspectos a tener en cuenta al momento de seleccionar registros para un sitio en particular, se recomienda lo siguiente:

- Si el sitio de interés se encuentra en una **cuenca**, entonces es preferible usar registros sísmicos obtenidos en cuencas para considerar las mayores amplitudes de ondas superficiales.
- En el caso de que el sitio de interés se encuentre en las cercanías de una **falla cortical**, se recomienda seleccionar registros con pulsos de velocidad, especialmente para el caso de sistemas estructurales con periodos fundamentales sobre 0.5 s.
- Si bien es cierto que se seleccionan registros de aceleración para un EPU, se recomienda asignar una **magnitud** equivalente al EPU y buscar registros que estén cercanos en magnitud. Revisar con el método 2 ASCE 7-16.
- Para el caso de la **distancia del sitio a la falla**, es preferible seleccionar registros que se encuentren aproximadamente a esa misma distancia.
- Para el caso de los **efectos de sitio** se sugiere seleccionar registros obtenidos en suelos con valores similares de Vs_{30}. y periodos naturales.
- Los registros de aceleraciones a seleccionar deben tener un **mecanismo focal** similar, además de una similitud en las condiciones sismo tectónicas.

2. Definición de niveles de Desempeño

El nivel de desempeño esperado de un edificio es una combinación del nivel de desempeño esperado de los elementos estructurales (Desempeño Estructural), con el nivel de desempeño esperado de los elementos no estructurales (Desempeño No Estructural).

Los Niveles de Desempeño esperados que se usan para el diseño de edificios son, en términos de la combinación de desempeño estructural y no estructural: Operacional (1-A), Ocupación Inmediata (1-B), Seguridad de Vida (3-C) y Prevención de Colapso (5-D).

ASCE 41-13 define seis niveles de Desempeño Estructural, relacionados con los estados de daño de los elementos que son parte del sistema resistente de cargas laterales, siendo los principales Ocupación Inmediata (S-1), Seguridad de Vida (S-3) y Prevención de Colapso (S-5). Además, define cuatro niveles de Desempeño No Estructural, que son Operacional (N-A), Retención de Posición (N-B), Seguridad de Vida (N-C) y No Considerado (N-D).

Los niveles de desempeño se expresan como objetivos discretos seleccionados de las infinitas posibilidades de daño que un edificio, o sus diferentes componentes estructurales y no estructurales, pueden experimentar en un terremoto. Han sido seleccionados porque las consecuencias son fácilmente identificables después de un terremoto y son importantes para las comunidades. Estas consecuencias incluyen el normal funcionamiento de los sistemas del edificio, la conveniencia de usar nuevamente el edificio y el riesgo para la seguridad de la vida.

Las definiciones de los niveles de desempeño son estimaciones del daño, es decir, no son precisas o exactas, por lo que es esperable observar variación en la respuesta de los edificios o componentes a pesar de tener declarado el mismo nivel de desempeño.

Debido a las incertezas inherentes en la predicción de los terremotos y en la predicción del comportamiento de los edificios, es esperable tener variaciones en el nivel de desempeño real a ser observado en una estructura, por lo cual, el cumplimiento de esta norma no garantiza lograr los niveles de desempeño esperados.

La Tabla 2 muestra la definición de los Niveles de Desempeño de un edificio y los estados de daño y descripción de los daños asociados a cada Nivel de Desempeño.

Tabla 2 Niveles de Desempeño

Nivel de Desempeño	Estado de daño	Descripción de los daños
Operacional (**O**)	Despreciable	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan prestando sus servicios.
Ocupación Inmediata (Inmediate Occupancy – **IO**)	Leve	Daño estructural despreciable. Daño leve en contenidos y elementos arquitectónicos. Aunque algunos equipos y sistemas no estén operacionales, estos se pueden reiniciar con facilidad. Los sistemas de seguridad y evacuación funcionan con normalidad.
Seguridad de Vida (Life Safety – **LS**)	Moderado	Daños moderados y reparables en elementos estructurales. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente de cargas laterales. Puede llegar a ser necesario cerrar el edificio temporalmente para realizar reparaciones. Sistemas arquitectónicos, eléctricos y mecánicos podrán sufrir daños, pero el riesgo para la vida de las personas es limitado.
Prevención de Colapso (Colapse Prevention – **CP**)	Severo	Daños severos en elementos estructurales, pero elementos soportantes de cargas verticales funcionan adecuadamente. Falla extendida de elementos secundarios, no estructurales y contenidos, con riesgo de caída. Puede llegar a ser necesario demoler el edificio.

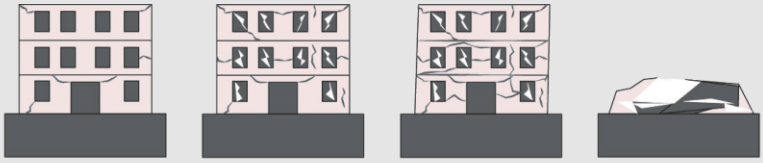
La definición de la Tabla 2 está basada en ASCE 41-13, compatibilizado con Vision 2000 (SEAOC, 1995). Ambos documentos tienen diferencias menores, por ejemplo, en los nombres de los niveles. En la Tabla 2 se dejaron los nombres propuestos por ASCE 41-13. Las descripciones de los estados de daño se presentan para ayudar a los ingenieros que utilizan esta metodología de diseño a comprender los grados relativos de daño en cada nivel de desempeño definido.

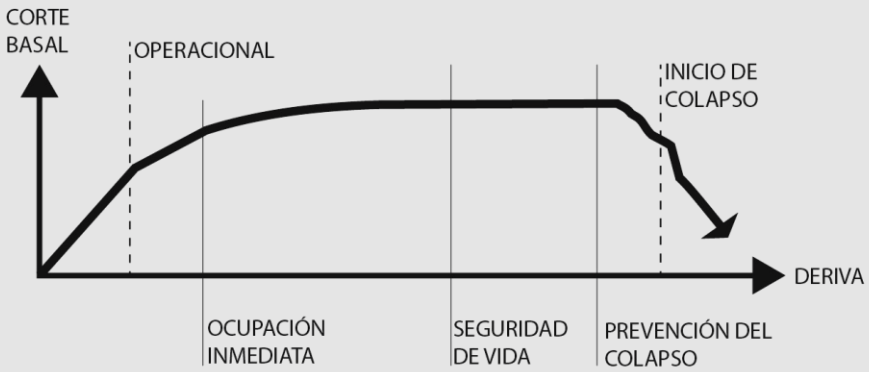
Los estados de daño descritos pueden ocurrir en algunos elementos, pero es poco probable que todos los estados de daño descritos se produzcan en todos los elementos de un edificio.

La caracterización del Daño Moderado puede diferir ligeramente entre diferentes tipos de estructuras, por ejemplo, el daño aceptado para una vivienda puede variar del daño aceptado para un edificio de uso industrial.

La diferencia entre el daño asociado con la prevención de colapso y los niveles de desempeño de seguridad de vida es una cuestión de grado o certeza. Para una estructura dada, los patrones de daño y las ubicaciones del daño inicial son similares para ambos niveles de desempeño, pero el daño en el nivel de desempeño de seguridad de vida es menos extenso y, debido a las diferencias en los criterios de aceptación cuantitativos, es menos probable que provoque un colapso.

La Figura siguiente muestra una representación gráfica de los Niveles de Desempeño establecidos en términos del daño:





3. Objetivos de Desempeño

Los objetivos de desempeño corresponden a los comportamientos esperados de un edificio sometido a diferentes niveles de movimiento sísmico y se definen como uno o más pares de Niveles de Movimiento Sísmico y de Niveles de Desempeño (Tabla 3).

Los objetivos de desempeño se clasifican en niveles de desempeño básico y nivel de desempeño superior. El objetivo de desempeño básico exige el cumplimiento de los puntos a, f, k y p de la matriz (Tabla 3) y el objetivo de desempeño superior exige el cumplimiento de los puntos e, j, y o de la matriz (Tabla 4).

Tabla 3 Objetivos de Desempeño

		Niveles de daño			
		Despreciable	Leve	Moderado	Severo
Niveles de Sismo	Ocasional (43 años)	a	b	c	d
	Servicio (72 años)	e	f	g	h
	Diseño (475 años)	i	j	k	l
	Máximo Considerado (970 años)	m	n	o	p
		Operacional (O)	Ocupación Inmediata (IO)	Seguridad de Vida (LS)	Prevención de Colapso (CP)
		Niveles de Desempeño			

Tabla 4 Objetivos de Desempeño Superiores

Niveles de Sismo	Niveles de daño			
	Despreciable	Leve	Moderado	Severo
Ocasional (43 años)	a	b	c	d
Servicio (72 años)	e	f	g	h
Diseño (475 años)	i	j	k	l
Máximo Considerado (970 años)	m	n	o	p
	Operacional (O)	Ocupación Inmediata (IO)	Seguridad de Vida (LS)	Prevención de Colapso (CP)

Para estructuras normales, los códigos de diseño sísmico comunes buscan cumplir con los objetivos de desempeño básico; sin embargo, al usar análisis lineal, varios de estos objetivos no se verifican explícitamente. Por ejemplo, al usar el análisis modal espectral, usualmente se proporciona una resistencia para un sismo de diseño reducido por un factor de reducción (en algunos países se denomina R, en otros Q), que considera sobreresistencia e incursión en rango no lineal, pero no permite estimar el nivel de daño que se observara en la estructura para movimientos sísmicos muy intensos.

Por lo cual, tradicionalmente las normativas limitan el daño estructural a un nivel leve (fisuras en hormigón, comienzo de fluencia en armaduras) para un sismo aproximadamente de servicio (sismo de diseño dividido por el factor de reducción), es decir, es similar a cumplir con el objetivo de desempeño “f” de la matriz de objetivos de desempeño. Para asegurar que la estructura no colapse para sismos mayores, se proporciona ductilidad a las secciones críticas de manera que puedan incurrir en el rango inelástico de manera segura, lo que equivale a obtener un daño estructural moderado (fluencia de secciones críticas) para un sismo de diseño, es decir, es similar a cumplir con el objetivo de desempeño “k” de la matriz de objetivos de desempeño.

En el caso en el que debido a la naturaleza de la estructura, o simplemente por voluntad del propietario, se desee un desempeño superior, usualmente se opta por amplificar el sismo de entrada por un factor de importancia, lo cual equivale a moverse en la dirección vertical de la matriz de objetivos de desempeño, sin una relación explícita con la mejora de desempeño salvo que se espera que el daño estructural comience más tarde y que la demanda de ductilidad sea levemente menor debido a la mayor rigidez provista.

Cabe notar que mediante el análisis modal espectral (o cualquier otro análisis lineal) ninguna de las verificaciones de desempeño es explícita y existe una alta incertidumbre al respecto. Por un lado, se supone que el sismo de diseño dividido por el factor de reducción es similar al sismo de servicio, pero dependiendo del valor del factor de reducción usado (el cual depende del tipo de sistema sismorresistente), el espectro resultante pudiese ser mayor o menor que el espectro que define el sismo de servicio. Por otro lado, si bien se proporciona ductilidad a las secciones críticas, debido a las limitaciones del método lineal las magnitudes de las incursiones inelásticas usualmente se determinan a través de expresiones aproximadas y no de manera directa, ocasionando cierta incertidumbre acerca de la efectividad de la ductilidad provista ya que los materiales, aunque estén detallados para ser dúctiles, tienen un límite de deformación plástica que pueden desarrollar antes de empezar a perder resistencia (por ejemplo, por fractura de barras o por falla por compresión del hormigón).

En el caso de usar análisis no lineal, las verificaciones de los objetivos de desempeño son directas. Las demandas son modeladas directamente a través de registros de aceleraciones compatibles con espectros asociados a los períodos de retorno considerados. Por otra parte, la modelación no lineal del comportamiento de los materiales permite obtener directamente el nivel de daño esperado. Cuando se utiliza análisis no lineal para estructuras comunes, usualmente se verifican de manera explícita los objetivos de desempeño “f” y “p”. Para obtener un desempeño superior, usualmente, se opta por aceptar un menor daño o menor incursión en el rango inelástico para el mismo nivel de demanda sísmica, lo cual equivale a moverse en la dirección horizontal en la matriz de objetivos de desempeño, es decir, la verificación de “e” y “o”.

Experiencias recientes han mostrado que los objetivos de desempeño comunes de las normativas no necesariamente producen una respuesta resiliente. Por ejemplo, aunque se evite el colapso, la incursión significativa en rango inelástico puede requerir la evacuación y posterior demolición del edificio. Cuando esto ocurre de manera generalizada, la ciudad puede no tener la capacidad de reubicación de los habitantes de dichos edificios, generándose un problema económico y social contrario a la respuesta resiliente.

Es posible mejorar los objetivos de desempeño de diversas maneras. Una de ellas es rigidizar las estructuras con el fin de disminuir la demanda de desplazamiento y con ello el daño estructural y no estructural. Sin embargo, esto usualmente ocasionará mayores aceleraciones, lo cual puede tener consecuencias en el desempeño del contenido no anclado de dichas estructuras.

Otra alternativa para mejorar el desempeño es usar sistemas de protección sísmica. Éstos se dividen en sistemas basados en aislación sísmica (sistemas elastoméricos o friccionales) y en los basados en disipación de energía (viscosa o metálica). Los primeros funcionan desacoplando el movimiento lateral del terreno que se produce durante un terremoto de la estructura mediante la incorporación de elementos flexibles lateralmente. Esto trae como consecuencia un aumento del período fundamental de la estructura con el sistema de aislación y con ello una disminución de las aceleraciones. El aumento de desplazamiento se concentra en los aisladores, por lo que muchas veces se complementa la aislación sísmica con fuentes de disipación de energía que sirvan para disminuir la deformación de éstos. Los segundos proporcionan amortiguamiento adicional y algunos de ellos también rigidez.
Con ambos sistemas se busca lograr menores deformaciones y demandas en la estructura, lo que conlleva un menor daño estructural y no estructural.

4. Criterios de aceptación a nivel global y a nivel local de materiales

A continuación, se definen las condiciones a nivel local (elementos) y global (estructura) que se deben cumplir para verificar que una estructura cumpla con un nivel de desempeño predeterminado. Notar que muchas de estas condiciones solo pueden ser explícitamente verificadas mediante análisis no lineal.

Operacional

Nivel Global:
Derivas de entrepiso < 0.002.

Nivel Local:
Ningún elemento ve superada su capacidad, es decir, permanecen en el rango elástico.

Ocupación Inmediata (IO):

Nivel Global:
Derivas de entrepiso < 0.005 (ACSE 41-13).

Nivel Local:
Los definidos en ASCE41-13 para el estado “Immediate Occupancy”.

Seguridad a la vida (LS):

Nivel Global:
Derivas de entrepiso < 0.02 según ACSE 41-13.

Nivel Local:
Los definidos en ASCE41-13 para el estado “Life Safety”.

Prevención de Colapso (CP):

Nivel Global:
Derivas de entrepiso < 0.035 (ACSE 41-13).

Nivel Local:
Los definidos en ASCE41-13 para el estado “Collapse Prevention”.

Los límites propuestos en ASCE41-13 son consistentes con las prescripciones contenidas en las normas de diseño citadas en el mismo documento.

Los límites establecidos en este capítulo se deben verificar y garantizar para todos los elementos que forman parte de la estructura, incluidos aquellos que no se designan como parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas.

Los límites de derivas de entrepiso se establecen para estructuras típicas definidas en el Capítulo 3 Tabla 3.1 de ASCE41- 13 y el Capítulo 12 Tabla 12.2-1 del ASCE07-16, por lo tanto, para cualquier tipología no contenida en dichos códigos se deberá revisar los límites aceptables para las deformaciones.

Referencias

ASCE 41. (2013). *American Society of Civil Engineers: seismic evaluation and retrofit of existing buildings.*

ASCE SEI. (2016). 7 Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures.

Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica - ACHISINA . (2017). *Diseño Sísmico Basado en Desempeño - Un procedimiento alternativo para el análisis y diseño sísmico de edificios.* Santiago.

Bommer, W. H. (2000). *Student Performance: Assessment Centers Versus Traditional Classroom Evaluation Techniques.*

Farzad Naeim, M. L. (1995). On the Use of Design Spectrum Compatible Time Histories. *Earthquake Spectra*, Vol. 11, No. 1, pp. 111-127. .

Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J.*

Reiter, L. (1990). *Earthquake hazard analysis.*

SEAOC. (1995). *VISION 2000.*