

ÍNDICE DE DAÑO EN EL DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS DE CONCRETO REFORZADO CON PISO SUAVE: ANÁLISIS COMPARATIVO CON MUROS Y SIN MUROS

C. Rodríguez-Álvarez^{1,*}, R. Pérez-Martínez², J. G. Rangel-Ramírez³, E. M. Rodríguez-Martínez², H. I. Navarro-Gómez¹, E. Pérez-Isidro¹, J. E. Cerón-Carballo¹

¹Grupo de Investigación Ingeniería Civil Forense, UAEH, Carretera Pachuca Tulancingo km. 4.5 colonia carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C. P. 42184, México.

²Universidad Autónoma de Nuevo León, Av. Universidad S/N Cd. Universitaria, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, C.P. 66451 Apdo. Postal 57 F, México.

³Universidad Veracruzana (Facultad de Ingeniería), Coordinación de Ingeniería Civil, Región Córdoba-Orizaba, Calle 16 de septiembre No. 100, Colonia Centro, Cd Mendoza, Veracruz, C.P. 94743, México.

* Autor de correspondencia: cutbertor67@gmail.com

RESUMEN

La mampostería en México se ha constituido en un sistema de construcción tradicional, la combinación de este sistema constructivo en algunos edificios de concreto armado puede contribuir al incremento de resistencia y rigidez. Sin embargo, cuando las distribuciones de los muros de mampostería se colocadas de forma irregular, pueden significar un riesgo para el sistema estructural, la ausencia de muros en planta baja provoca una irregularidad denominada piso suave. Este trabajo presenta el análisis de una familia de edificios de cinco niveles bajo la influencia de sismos de alto riesgo, generados en la Costa del Pacífico mexicano. Para tal efecto, se realizó un diseño sísmico convencional de la estructura, a base de marcos ortogonales de concreto armado, sin considerar la presencia de muros de mampostería. El modelo resultante fue sometido al análisis probabilístico para obtener el escenario correspondiente a la variación estadística relativo a valor de cargas, características geométricas y propiedades mecánicas de los elementos estructurales. Después se consideran modelos con y sin muros, analizándolos por medio de métodos no lineales para obtener su capacidad inicial y demanda sísmica, donde las distorsiones máximas de azotea y de entrepiso fueron parámetros a considerar. La configuración de los edificios con mampostería consideró a los muros de relleno ligados a los marcos que se ubican por encima de la planta baja. Lo anterior permitió obtener información cuantitativa que hizo posible concluir que la presencia de muros de mampostería cambia el comportamiento global del sistema y repercute en el índice de daño.

Palabras Clave: Mampostería, Piso suave, Sismos, Distorsión, Índice de daño.

1. INTRODUCCIÓN

La mampostería a través del tiempo ha sido un elemento comúnmente utilizado en la construcción de grandes obras, con la aparición del concreto y el acero, ha dejado de usarse como única alternativa en la construcción de edificaciones. Sin embargo, en la actualidad algunos países localizados en zonas de riesgo sísmico han aceptado el empleo de la mampostería para la construcción de edificios de hasta 6 niveles de altura. En México, las

construcciones destinadas a uso habitacional de tipo unifamiliar o multifamiliar, que han sido edificadas con muros de mampostería ocupan más del 90 % [1].

De igual forma, la necesidad de aprovechamiento integral del terreno hace que sea común observar, en la planta baja de estas construcciones, espacios abiertos utilizados para accesos a estacionamientos o fungiendo como áreas comerciales. En estos espacios la colocación de muros de mampostería es sustituida por puertas de acceso o ventanales, arreglo diferente al de los pisos superiores en donde sí se colocan muros de mampostería, propiciando un cambio en la rigidez y resistencia lateral que influye de manera importante ante solicitaciones sísmicas que puede ocurrir durante su vida útil.

Esta desigual distribución en la rigidez y resistencia da como resultado una demanda excesiva de ductilidad en el primer nivel del sistema estructural, las columnas se ven obligadas a disipar la energía concentrada en ese lugar; a este tipo sistemas estructurales se les ha denominado “piso suave” o “piso débil” en planta baja.

En términos arquitectónicos esta configuración recibe el nombre de planta libre o planta abierta; “este concepto de diseño en la arquitectura moderna, tanto atractivo en la parte estética como funcional es razón suficiente para que muchas personas prefieran este tipo de construcciones desde la primera mitad del siglo 20 [2].

Los sismos ocurridos en los últimos años han denotado que “el piso suave en planta baja, causado por la existencia de muros no estructurales en los niveles superiores de edificios de departamentos, con estacionamientos sin muros en la base, fue también la razón de colapsos parciales o totales” Borja et al [3]; Esteva [4], reportan que en el sismo de 1985 en México 330 edificios colapsaron, donde el 8% se trató de piso suave en planta baja.

Aún con lo antes descrito los diseños arquitectónicos han adoptado este tipo de estructuras por la atracción que ejercen por su eficiencia en el uso de espacios.

Estas configuraciones, esencialmente originadas por errores conceptuales, deficiente control de la calidad durante el inicio del proceso constructivo, o por decisiones de arquitectura, son identificadas en la ingeniería sísmica como problemas a la vulnerabilidad de los sistemas estructurales, por lo que requieren de consideraciones especiales en su análisis y diseño.

El piso suave, como problema, ha sido reconocido desde la década de los años treinta del siglo pasado. En 1932, Ripley [5], publica los resultados de su investigación, sobre los severos daños ocasionados por el sismo de 1925 en Santa Bárbara California, mostrando especial interés en el comportamiento de los pisos inferiores del Hotel Carrillo, severamente destruidos.

Hanson y Degenkolb [6], al estudiar las afectaciones del sismo de 1967, ocurrido en Venezuela, concluyen que “si hay una sola zona de debilidad en la ruta de la transmisión de fuerzas, o si hay un repentino cambio de rigidez, hay una zona de peligro”.

Bazán y Meli [7], indican que “un aspecto a cuidar es la continuidad en elevación del sistema estructural, pues los cambios bruscos de rigidez y resistencia con la altura llevan a diversos problemas” Sin embargo, las tendencias arquitectónicas y el requerimiento de aprovechar todos los espacios, han dado lugar a edificaciones de mampostería cuya estructuración no satisface las condiciones de regularidad que se requieren para fomentar un desempeño sísmico adecuado”.

Bajo estas circunstancias, es importante que las edificaciones de mampostería se analicen con procedimientos basados en desempeño, lo cual puede aportar información relevante respecto de la distribución de fuerzas y desplazamientos laterales en el rango de comportamiento inelástico.

El presente trabajo está orientado en ese sentido, presentando el análisis comparativo del comportamiento esperado de edificios con planta baja débil (debida a la presencia de muros de mampostería) respecto de aquellos con rigidez de entrepiso uniforme o gradualmente variables, construidos en sitios expuestos a condiciones de peligro sísmico significativas, considerando el enfoque de la filosofía del Diseño Sísmico Basado en Desempeño.

El análisis del comportamiento de estructuras reforzadas de concreto, con piso suave en planta baja ha sido estudiado por diversos investigadores, entre los que podemos citar a: Chopra et al. [8], publicaron en la revista *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, un estudio sobre la resistencia al sismo de edificios con piso suave.

Esteva [4] señala que, en el sismo de 1985, ocurrido en las costas del Pacífico mexicano, muchos de los edificios que fallaron en la Ciudad de México presentaron “significativas irregularidades en la distribución de resistencias y rigideces” y, que “notorios representantes de estas irregularidades son los edificios con piso suave en planta baja o con grandes excentricidades torsionales”.

Díaz [9], publicó los resultados de su investigación sobre el comportamiento en edificios de concreto armado con mampostería y piso suave de 7, 14 y 20 niveles, donde se demuestra la pérdida de niveles de confiabilidad debido a la formación de piso suave.

Dadi y Pankaj [10] publicaron su trabajo sobre modelos a escala (1:4) de un edificio a base de marcos de concreto armado, con piso suave en planta baja y muros de mampostería en pisos subsecuentes, en donde hacen variar el tipo de refuerzo con el fin de analizar la ductilidad del modelo al someterlo a cargas cíclicas; logrando establecer ventajas sobre la capacidad de deformación en el rango no lineal respecto el tipo de refuerzo y norma aplicada.

Pérez y Esteva [11] presentaron, en 2012, un estudio sobre la influencia de los paneles de mampostería de relleno en el ciclo de vida esperado de las funciones de desempeño para estructuras simétricas de concreto reforzado, expuestas a la amenaza sísmica, de 3 crujías por lado y con 3 diferentes distribuciones de muros de mampostería: sin mamposterías; con mampostería en las tres crujías de los marcos exteriores y, en la crujía central de cada marco exterior. El modelo de comportamiento histerético y de daño para los muros de mampostería confinada considera reducción de rigidez y degradación como funciones de la acumulación de daño. No considera el efecto de la interacción suelo estructura.

Rodríguez [12] en 2014 presentó un análisis de confiabilidad sísmica para estructuras de concreto reforzado con la intención de valorar la presencia de muros no planeados, mediante la instrumentación de estructuras de concreto de mampostería desligada y estructuras de concreto con mampostería ligada, considerado incertidumbres relacionadas con la simulación de edificios de concreto reforzado bajo una configuración de muros de mampostería con piso suave. El estudio se realiza en sistemas simétricos en 3D, con una relación largo por ancho igual a uno.

El presente estudio, presenta el análisis de un edificio rectangular de 3 x 6 crujías en cada nivel, en donde a diferencia del anterior, la comparación de resultados sobre la influencia de la mampostería en la respuesta sísmica, función de confiabilidad y niveles de desempeño esperados se lleva a cabo considerando, en el primer arreglo, que existen muros de mampostería en todos los niveles y crujías de los marcos exteriores, salvo en las crujías de la planta baja de esos mismos marcos y que estos muros contribuyen y en el otro arreglo, se considera que ninguna de las crujías, de cualquier nivel y marco, presenta influencia de los muros de mampostería.

2. PARTE EXPERIMENTAL

Las características geométricas y de cuantía de acero, de los elementos que conforman el modelo de partida, se obtuvieron de acuerdo con los códigos vigentes [13, 14 y 15] sin considerar la influencia de los muros de mampostería en la estructura.

La configuración resultante fue sometida, a través de la herramienta Simulation of Building (SIB), al análisis probabilístico, utilizando el método de Monte Carlo, de las incertidumbres geométricas, de las propiedades mecánicas de los materiales y de las cargas (viva y muerta) a las que está expuesta la estructura, obteniéndose cinco arreglos aleatorios. El SIB, es gratuito y de código libre.

Para evaluar el riesgo sísmico de estructuras, existen diversas metodologías que se fundamentan en el análisis estático no lineal incremental, comúnmente conocido como “push-over”, y en el análisis dinámico no lineal paso a paso. Los arreglos obtenidos en el modelo de partida, con muros y sin muros fueron analizados a través de estos métodos [16], estático no lineal incremental y dinámico no lineal, a través del software OpenSees [17].

El método del diseño sísmico basado en desempeño considera la capacidad de la estructura, obtenida a partir del cálculo estático no lineal – push-over – y la demanda a través del análisis dinámico no lineal de múltiples grados de libertad sujetos a las aceleraciones sísmicas consideradas.

Cuando se realiza un análisis sismo-resistente en 3-D un efecto a tener en cuenta es el de la orientación o ángulo de entrada del sismo a la estructura. Este efecto se considera tomando en cuenta, en los arreglos de cargas, la rotación de las componentes horizontales de los acelerogramas, obteniendo así la demanda en función del ángulo de entrada a la estructura. Como paso final, se realizó el cálculo del índice de daño D de acuerdo con lo propuesto por Esteva y Díaz [18].

2.1 Elección del Modelo

Para el presente trabajo se eligió un edificio de cinco niveles con relación largo-ancho menor que dos, un aspecto considerado por el reglamento [14] para ser estructura regular, con seis crujías en el lado longitudinal y tres en el lado perpendicular. Estructura a base de marcos de concreto armado, se realiza un diseño sísmico resistente con apoyo del software comercial ECOgcW [19], estimando que se encuentra desplantado sobre terreno firme. La Figura 1 muestra la configuración del edificio. Es de resaltar que en esta primera fase se realiza el análisis de la estructura sin considerar la presencia de muros de mampostería de relleno.

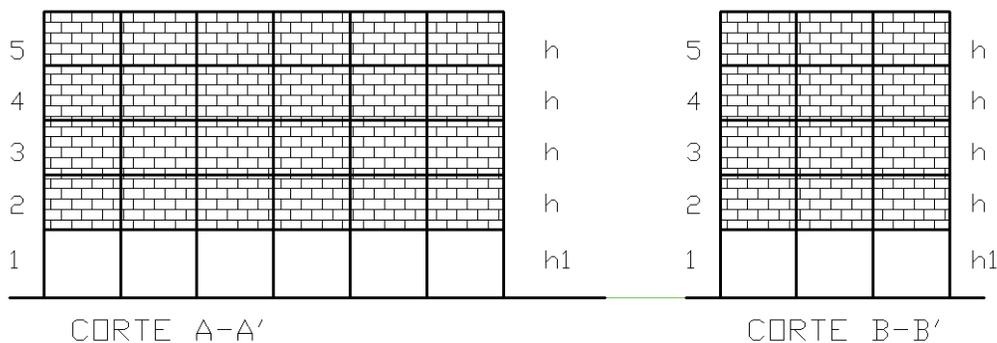


Figura 1. Diseño arquitectónico de la edificación, donde $h_1=4$ metros, $h=3.20$ metros y la distancia de entre ejes es de 4.5 metros.

2.2 Simulación del Sistema Estructural

Para tomar en cuenta las incertidumbres geométricas, de las propiedades mecánicas de los materiales y, las simulaciones de cargas (viva y muerta) se utilizaron los modelos probabilísticos de Mitchell y Woodgate [20] y Pier y Cornell [21], a través del método de Monte Carlo, conforme a la metodología establecida por Rangel y Esteva [22]. Como resultado de esta simulación se obtuvieron 5 diferentes arreglos que consideran la variabilidad de las características que impactan en el diseño.

Tabla 1. Casos de estudio.

Modelo	Configuración	Simulaciones			
	Sin muros	Simulación 1 escala de sismo =0.5	Simulación 2 escala de sismo =1.0	Simulación 3 escala de sismo=2.0	Simulación 4 escala de sismo=3.0
Con piso suave	Simulación 5 escala de sismo =0.5	Simulación 6 escala de sismo =1.0	Simulación 7 escala de sismo=2.0	Simulación 8 escala de sismo=3.0	

Tomando en consideración que la variación de las propiedades de la mampostería puede ser en cada nivel de la edificación, se realizó simulación a la mampostería obteniendo cuatro muestras con información aleatoria para los muros, es decir una por nivel del edificio analizado. Considerando propiedades estadísticas de acuerdo con Aguilar y Alcocer [23] y Pérez [24].

Posteriormente los sistemas estructurales fueron analizados considerando el comportamiento no lineal, mediante el programa OpenSees, tomando en cuenta los modelos de concreto armado y mampostería, además de someterlos a un registro sísmico real de la costa del pacifico mexicano.

2.3 Modelación de elementos de concreto armado.

El modelo considera en el lado longitudinal del elemento estructural diversos puntos de control, que permiten obtener información a través de la integración.

La discretización de las secciones (fibras) permite establecer un comportamiento axial particular y determinar zonas de concreto o zonas de acero en cada sección; además considera las variaciones de dimensiones en los elementos, así como de las áreas de varillas obtenidas por simulación de propiedades en el SIB, el modelo toma en cuenta un modelo de viga discretizado en fibras bajo un sistema de referencia local, Filippou et al [25].

2.4 Casos de aplicación

Cada uno de estos arreglos, al ser analizado considerará dos modelos, con y sin muros de mampostería. Los modelos obtenidos fueron sometidos a condiciones de carga que incluyen un sismo con altas posibilidades de ocurrencia ubicado en la costa del pacifico mexicano, para lo cual el registro de acelerograma fue escalado para 0.5, 2.0 y 3.0 veces su valor inicial. La Tabla 1 muestra los casos de estudio:

2.5 Modelación de muros de mampostería confinada

Se trata de un modelo analítico que se puede utilizar para la evaluación sísmica de mampostería no reforzada, de muros de relleno, ubicada dentro de un marco de concreto armado. El modelo consta de miembros viga-columna diagonales utiliza secciones

transversales de elementos de fibra y de acuerdo con Kadysiewski y Mosalam [26], es adecuado para su uso en un análisis no lineal. En el análisis se consideró la respuesta del muro, así como la iteración dentro y fuera del plano del relleno, además la interacción entre las capacidades IP y OOP.

La construcción del modelo se realizó con base a [26], calibrado de acuerdo con parámetros solicitados en FEMA 356 [27], basándose en la información para parámetros del muro tipo 2 para las pruebas de carga cíclicas realizadas por Alcocer [23] en el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) de México. La Figura 2 muestra el modelo para los muros de mampostería que se usó en el modelo analizado.

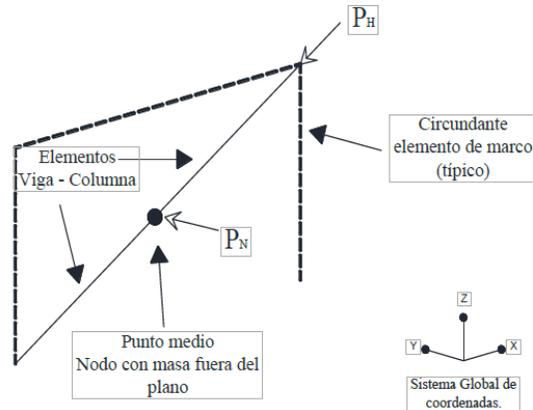


Figura 2. Modelo de interacción fibra-sección, [26].

Los variables a tomar en cuenta son: Espesor de relleno, altura de la columna entre las líneas centrales de las vigas, módulos esperados de elasticidad de los materiales del marco y de relleno respectivamente, longitud del panel de relleno, ancho del puntal, altura del panel de relleno, momento de inercia alrededor del eje de la columna fuera de plano, longitud de la diagonal del panel de relleno; estas variables son procesadas mediante Mathcad [28], de acuerdo a FEMA 356 [26], para encontrar los parámetros necesarios de su modelación.

2.6 Análisis no lineal

Los modelos antes descritos son integrados al software OpenSees [17], para realizar análisis gravitacionales y no lineales, el programa utiliza técnicas modernas para evolucionar una extensible plataforma de códigos abiertos de software de elementos finitos para la ingeniería sísmica, de la información que se obtiene es posible trazar las de curvas desplazamiento – cortante basal.

2.7 Obtención del daño

De los análisis no lineales se obtuvo la rigidez inicial del sistema, así como la capacidad de respuesta sísmica (rigidez final) y con estos datos se calculó el índice de daño mediante la siguiente ecuación, propuesta en Esteve y Díaz [26].

$$D = \frac{k_0 - k_{sec}}{k_0} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde:

D: índice de daño.

k_0 : rigidez inicial.

k_{sec} : rigidez final de la estructura.

3. RESULTADOS

Las tablas 2 y 3 muestran los resultados obtenidos, para estructura sin muros y con distribución de muros en pisos superiores y sin muro en planta baja (piso suave), bajo la influencia de un sismo real registrado en la costa del pacífico mexicano, donde se puede apreciar que el índice de daño es menor en el modelo que no cuenta con muros.

Tabla 2. Resultados del análisis no lineal a la simulación del modelo sin muros.

Edificio 1		Dirección	Escala	Escala	Escala	Escala
		+X	0.5	1.0	2.0	3.0
Análisis	Pushover	Cortante Basal	446922.5	446922.5	446922.5	446922.5
		Despl máximo	0.03432791	0.03432791	0.03432791	0.03432791
		Rigidez Inicial	13019217	13019217	13019217	13019217
	Paso a paso	Cortante Basal	40271.56	79177.9	228026.5	366734
		Despl máximo	0.00948911	0.01872196	0.03672826	0.05417691
		Rigidez final	4243975	4229145	6154022	6769194
DAÑO		0.67402225	0.67516134	0.52731243	0.48006136	

En lo que se refiere a la respuesta sísmica de edificios sin muros de mampostería, del análisis dinámico (paso a paso) se puede observar que la demanda sísmica, para las simulaciones realizadas, al final solicita un 38.6 % (en promedio) de mayor rigidez respecto a las simulaciones que si cuentan con los muros de mampostería (ver Tabla 3)

Tabla 3. Resultados del análisis no lineal a la simulación del modelo con muros y piso suave.

Edificio 1 con muros		Dirección	Escala	Escala	Escala	Escala
		+X	0.5	1.0	2.0	3.0
Análisis	Pushover	Cortante Basal	510619.1	510619.1	510619.1	510619.1
		Despl máximo	0.03882454	0.03882454	0.03882454	0.03882454
		Rigidez Inicial	13151967	13151967	13151967	13151967
	Paso a paso	Cortante Basal	27438.3	59366.12	97169.82	175296.6
		Despl máximo	0.00920863	0.01794042	0.0340633	0.05107193
		Rigidez final	2979630	3309071	2852625	3432348
DAÑO		0.77344606	0.74839725	0.78310279	0.73902398	

Durante el análisis push-over se observó que el cortante basal aumentó en un 14.3%, para la simulación de la estructura con muros, esto debido al incremento de la masa provocado por la presencia de la mampostería.

No obstante, el incremento de la rigidez del sistema con muros, el daño resultante es mayor en todas las simulaciones realizadas, lo anterior debido a la distribución de los muros de mampostería (muros por encima de la planta baja), que origina el problema en edificios con piso suave.

La Figura 3 muestra el daño para cada una de las ocho simulaciones realizadas.

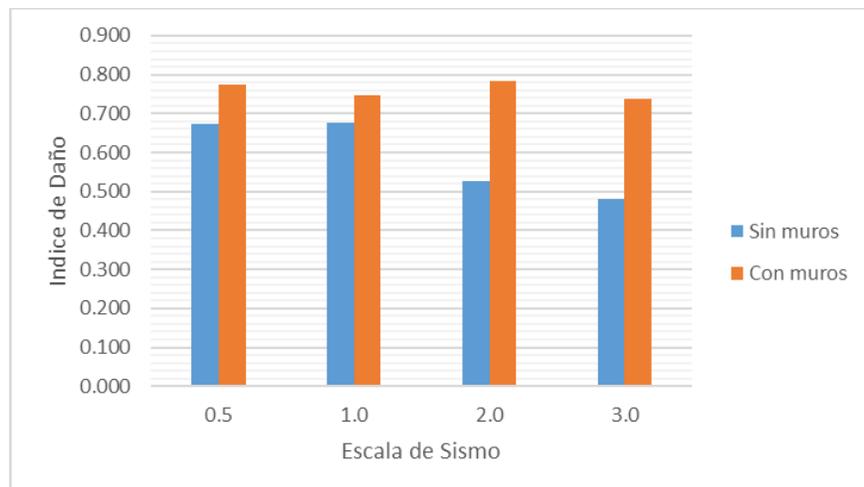


Figura 3. Comparación del índice de daños obtenido para los modelos analizados.

4. CONCLUSIONES

Los valores obtenidos son representativos del comportamiento global de la estructura y derivados de los análisis realizados (no lineal push-over); para un análisis más detallado de cada elemento se recomienda realizar un estudio de análisis incremental dinámico (IDA); sin embargo, para los fines del estudio el análisis realizado es suficiente para fundamentar que se encontraron elementos de los que se concluye, a través de los índices de daño obtenidos, que la existencia de muros de mampostería distribuidos rompe con la continuidad en elevación del sistema estructural, derivando en cambios bruscos de rigidez y resistencia que afectan las condiciones del comportamiento global de la estructura.

En este sentido, al comparar los resultados entre los escenarios planteados para edificios sin muros y edificios con muros y piso suave se puede observar que no existe gran diferencia en el desplazamiento final obtenido; sin embargo, también se identifica que el índice de daño es mayor en edificios con muros en los niveles del 2 en adelante y piso suave en el nivel 1 que el obtenido en el mismo escenario para edificios sin muros lo que confirma los supuestos planteados en el primer párrafo de estas conclusiones en el sentido de que la existencia de los muros de mampostería en pisos superiores combinada con su ausencia en la planta baja puede derivar en mayor índice de daño.

En lo que se refiere a las incertidumbres relacionadas con el problema de piso suave en edificios de concreto armado, se aplicó el programa SIB, que simula mediante modelos probabilísticos las incertidumbres que atañen a las cargas (muerta y viva), propiedades mecánicas del sistema, así como propiedades geométricas de los elementos que lo conforman.

Los análisis no lineales que contemplan las incertidumbres mencionadas, así como el modelo de mampostería y de los elementos de concreto reforzado que se presentan en el presente trabajo, se obtuvieron con el programa OpenSees, herramienta que permite estudiar estructuras sometidas a sismos.

La metodología aplicada permitió el cálculo del índice de daño de un edificio con piso suave en planta baja con una relación largo ancho cercano al límite permitido por normas mexicanas para ser considerada estructura regular. Por restricciones relacionadas con el tiempo de cómputo para el procesamiento de todos los datos, en trabajos futuros se

presentarán las funciones de confiabilidad de la estructura, que son los indicadores que el actual diseño sísmico por desempeño propone para la evaluación del daño.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Fundación ICA, A.C. Edificaciones de Mampostería para Vivienda. Ciudad de México, México. 2003.
- [2] L. Guevara, Soft Story and Weak Story in Earthquake Resistant Design: A multidisciplinary approach, *15 World Conferences on Earthquake Engineering (WCEE)*. Lisboa 2012.
- [3] G. Borja, et al. Damage Statistics of September 19, 1985 Earthquake in Mexico City, Beedle L.S. (eds) *Second Century of the Skyscraper*, Springer, Boston, U.S.A, 1988. 70-77.
- [4] L. Esteva, Earthquake engineering research and practice in México after the 1985 earthquakes, *Bulletin of de New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 1987 20 (3).
- [5] J. Ripley, Earthquake damage and earthquake insurance: studies of a rational basis for earthquake insurance, also studies of engineering data for earthquake-resisting construction, McGraw-Hill Book Co., 1932. 395-396.
- [6] D. Hanson, H. Degenkolb, The Venezuela earthquake, July 29, 1967. *New York, American iron and Steel Institute*. 1975: 314.
- [7] E. Bazán, R. Meli. Diseño Sísmico de Edificios, Limusa-Noriega, México, 2004: 181-186.
- [8] Chopra, K. Earthquake resistance of buildings with a soft first storey, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1973 (1): 347-355.
- [9] L. Díaz, Criterios de aceptación para el diseño sísmico por desempeño y confiabilidad de edificios de concreto reforzado, con piso suave en planta baja, desplantados en suelos blandos de la Ciudad de México. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. 2008.
- [10] V. Dadi, A. Pankaj, The Performance Evaluation of Soft Storey RC Frame Buildings Based on Different Reinforcement Characteristics. *15 World Conferences on Earthquake Engineering (WCEE)*. Lisboa 2012.
- [11] R. Pérez, L. Esteva, Influence of Masonry Panels on the Life-Cycle Expected Performance Functions of Multi-Story RC Frames. *15 World Conferences on Earthquake Engineering (WCEE)*. Lisboa 2012.
- [12] E. Rodríguez, Confiabilidad sísmica de edificios de concreto considerando la contribución no planeada de muros de mampostería, Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, Nuevo León. 2014.
- [13] Comisión Federal de Electricidad (CFE), *Diseño Sísmico*, Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, México 2008: 165.
- [14] Gobierno del Distrito Federal, Normas Técnicas Complementarias, Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, Ciudad de México, México, 2004.
- [15] H. Ayuntamiento de Acapulco de Juárez, *Reglamento de Construcciones para el municipio de Acapulco de Juárez, Guerrero*, 2016.
- [16] C. Comartin, N. Niewiarowski, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building, California Seismic Safety Commission*. R. ATC-40, Applied Technology Council. Report SSE. 1996. 96 (1): (8)1-(8)11
- [17] S. Mazzoni, et al., *OpenSees Command Language Manual*, Centro de Investigación en Ingeniería Sísmica del Pactico (PEER), 2006.

- [18] L. Esteva, O. Díaz, Seismic reliability functions for complex systems based on a secant - stiffness reduction index, Proc. International Federation for information Processing, WG7.5 Working Conference, Kobe, Japan.
- [19] G. Corona, *Software para diseño de estructuras*, ECOgcW, 2013.
- [20] G. Mitchell, R. Woodgate, *Floor loadings in office buildings – the results of a survey*, Technical report, CPE/71 Building Research Station, Garston, United Kingdom, EER Report, 1970 (76) 32.
- [21] J. Pier, C. Cornell, *Spatial and Temporal Variability of live loads*, ASCE Journal of Structural Division, 1973: 903-921.
- [22] J. G. Rangel, L. Esteva, *Simulation of Buildings Reference Manual*, México, 2013.
- [23] G. Aguilar, S. Alcocer, *Efecto del Refuerzo Horizontal en el Comportamiento de Muros de Mampostería*. Reporte Técnico, Ciudad de México, México, 2001.
- [24] R. Pérez, Tesis de Doctoral, *Confiabilidad y optimización para diseño sísmico de edificios considerando la contribución de muros de mampostería*. México, D.F., 2010,
- [25] F. Filippou, et al., *A fiber beam-column element for seismic response analysis of reinforced concrete structures*, Report No. UCB/EERC-91/17 Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering (PEER), University of California, Berkeley, U.S.A., 1991 16-18.
- [26] S. Kadsyewski, K. Mosalam, *Modeling of Unreinforced Masonry Infill Walls, Considering In-Plane and Out-of-Plane Interaction*, Report 2008/102, Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering (PEER), University of California, Berkeley, U.S.A, 2009. 15-40.
- [27] Federal Emergency Management, Agency (FEMA) *PR standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*, FEMA 356, Washington, D.C.,. 2000.
- [28] Parametric Technology Corporation, *Mathcad User's Guide*, Needham, USA, 2007.