



Análisis comparativo de la vulnerabilidad sísmica de un edificio de hormigón armado para uso comercial con y sin muro de corte mediante desempeño estructural

Comparative analysis of the seismic vulnerability of a reinforced concrete building for commercial use with and without a cutting wall through structural performance

*Artículo resultado de proyecto de investigación financiado por
La universidad estatal del Sur de Manabí*

Hugo Javier Córdova Morán

Universidad Estatal "del Sur de Manabí"

<https://orcid.org/0000-0001-9599-5407>

hugo.cordovam@unesum.edu.ec

Jipijapa -Manabí - Ecuador

Byron Baque Campozano

Universidad de Guayaquil

<https://orcid.org/0000-0001-6071-074X>

byron.baquec@edu.edu.ec

Guayaquil - Ecuador

<http://centrosuragraria.com/index.php/revista>

Publicada por: Instituto Tecnológico Edwards Deming

Quito - Ecuador

Enero - Junio vol. 1. Num. 1 – 2018

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

RECIBIDO: 7 DE ENERO 2017

ACEPTADO: 8 DE MARZO 2017

PUBLICADO: 4 DE ENERO 2018

RESUMEN

Este trabajo de investigación estudia el desempeño de un edificio de hormigón armado considerando dos modelos: uno estructurado en base a pórticos planos acoplados a muros de corte y otro solo con pórticos de hormigón armado, para ello se analizó y diseñó los elementos estructurales necesarios de la configuración de cada modelo según los procedimientos y normativa vigente, el edificio es de cinco pisos con tres vanos en la dirección del eje X y cinco en la dirección del eje Y, diferenciándose solamente en las configuraciones antes mencionadas. El desempeño de las estructuras es evaluado bajo procedimientos estático no lineales o análisis *pushover*, en la dirección del eje fuerte de los muros (eje X).

Los parámetros de modelación y criterios de aceptación numérica que definen las curvas constitutivas de las rótulas plásticas, cualquiera sea su naturaleza, son evaluados según el documento FEMA 356 (FEMA, 2000), mientras que los análisis *pushover* son ejecutados en el programa computacional estructural Etabs v 9.09. Se describe la secuencia de fallas que afecta a las estructuras, se evalúan las curvas de capacidad de cada modelo del edificio y se muestra que la alta rigidez de los muros incrementa la resistencia de los edificios a la vez que disminuye su ductilidad global.

PALABRAS CLAVE: elevación del edificio, método de las áreas, áreas cooperantes

ABSTRACT

This research paper studies the performance of a reinforced concrete building considering two models: one structured on the basis of flat porches coupled to cutting walls and another only with reinforced concrete porches, for this purpose the necessary structural elements of the structure were analyzed and designed. configuration of each model according to the procedures and regulations in force, the building is five stories with three openings in the direction of the X axis and five in the direction of the Y axis, differing only in the configurations mentioned above. The performance of the structures is evaluated under static nonlinear procedures or pushover analysis, in the direction of the strong axis of the walls (X axis).

The modeling parameters and numerical acceptance criteria that define the constituent curves of the plastic ball joints, whatever their nature, are evaluated according to FEMA 356 (FEMA, 2000), while pushover analyzes are performed in the Etabs structural computer program v 9.09. The sequence of faults affecting the structures is described, the capacity curves of each model of the building are evaluated and it is shown that the high stiffness of the walls increases the strength of the buildings while decreasing their overall ductility.

KEY WORDS: Building elevation, Method of areas, Cooperating areas

INTRODUCCIÓN

Los sismos son un fenómeno natural que están presentes desde la antigüedad y que inevitablemente nos van acompañar en el futuro. Estos son vibraciones de la corteza

terrestre inducidos por ondas sísmicas provenientes de un lugar o zona donde han ocurrido movimientos súbitos (disparo sísmico o liberación de energía).

Cabe destacar que debido a las corrientes de convención, los continentes continúan en movimiento. Dicho movimiento no se produce en forma uniforme, razón por la cual en ciertas regiones es muy lento del orden de una centésima de milímetro por año y en otras es muy rápido con más de 10 cm al año. De igual manera, hay zonas en las que segmentos de la corteza chocan entre si y otras en las que no existe choque.

El origen de la mayoría de los sismos es explicado satisfactoriamente por la teoría de la tectónica de las placas. La cual manifiesta que la corteza terrestre, la litosfera, está compuesta por un mosaico de doce o más bloques grandes y rígidos llamados placas que se mueven uno respecto de otro.

Las principales placas tectónicas son: Nazca, Sudamericana, Cocos, Norteamericana, Caribe, Africana, Euroasiática, Antártica, Pacífico, Filipinas, Arábica, Australiana y de la India. Las cuales contienen a su vez micro placas.

En América del Sur, ocurre el choque entre la Placa de Nazca o Placa Oceánica Con la Placa Sudamericana o Placa Continental. Este choque origina el fenómeno de subducción, por el cual la Placa de Nazca por ser más rígida y fuerte se introduce por debajo de la Placa Sudamericana y continúan moviéndose hacia el manto. Dicho proceso origina las erupciones volcánicas y los sismos.

En el cinturón cunpacífico y concretamente en el Ecuador, el proceso de subducción de la Placa de Nazca, genera una alta sismicidad en su recorrido, buzamiento, hacia el este. Por este proceso en la costa ecuatoriana tienen un hipocentro superficial y en la región oriental los eventos sísmicos asociados con la subducción pueden tener profundidades locales mayores a 200 km. A más de la actividad sísmica asociada a la zona de subducción, existen sismos que se generan por la activación de fallas locales

Se conoce que por lo general los sismos superficiales son los que causan mayor daño, entonces se puede indicar que la costa ecuatoriana tiene mayor actividad sísmica en nuestro país, seguida por la sierra y finalmente por el oriente. Prueba de ello es el sismo acaecido en Bahía de Caráquez el 4 de agosto de 1998.

Además si consideramos que el principal criterio de estructuración, para edificios de hormigón armado en Ecuador es el de pórticos de hormigón armado, el cual genera estructuras más flexibles, con periodos de vibración más largos, que conllevan mayores deformaciones. Este tipo de estructuración, no permite alcanzar muchos pisos de altura, ya que se hace muy difícil que cumpla con los requisitos de deformaciones máximas de entrepiso que exige la norma de diseño sísmico de edificios del CEC-2002.

Otros de los sistemas menos utilizados corresponden a los sistemas estructurales basados en pórticos y muros. Este tipo de estructuración otorga a las edificaciones una alta capacidad resistente a acciones laterales, y a la vez genera una estructura rígida que permite controlar los desplazamientos relativos de entrepiso.

Sistemas duales (pórticos acoplados a muros), pueden combinar las ventajas de los elementos que le constituyen. Pórticos dúctiles que interactúan con muros, pueden

proveer una cantidad importante de disipación de energía, cuando así se requiera, particularmente en los pisos superiores del edificio (Paulay, 1992).

La idea de que un edificio estructurado en base a pórticos y muros de corte es menos vulnerable ante un sismo fuerte, es lo que se desea ratificar. Además, interesa cuantificar cuán más vulnerable resulta una estructuración que otra, considerando la ventaja de que un edificio de pórticos presenta una mayor flexibilidad en cuanto a disponibilidad de espacio, pero una menor resistencia ante un evento sísmico.

Este trabajo se realizó con la finalidad de determinar cómo influye la propuesta planteada en el proceso de análisis y diseño de este tipo de edificación, se consideró además las características propias de la zona de construcción en lo relacionado a sismos. El diseño de las estructuras estará basado en las normas establecidas en el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC-2002) y demás reglamentos utilizados en el país.

Las grandes pérdidas materiales y económicas que han resultado de eventos sísmicos severos, desde la antigüedad hasta los actuales momentos en las distintas regiones del planeta, ha preocupado a los investigadores y profesionales inmersos en la ingeniería estructural.

Después de los sismos de México 1979-1985, Loma Prieta 1989, Northridge 1994 y Kobe 1995, se formularon nuevas metodologías de análisis, diseño y evaluación sísmica en varias partes del mundo. Fue entonces cuando se introdujo el diseño por desempeño, que enfatizan la necesidad de un control explícito de la respuesta dinámica de la estructuras.

En 1992 se iniciaran esfuerzos por desarrollar un marco de referencia que hiciera posible la elaboración de una nueva generación de códigos basados en el concepto del diseño por desempeño. Con este fin la Sociedad de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC) estableció el Comité Visión 2000. De manera paralela empezó a plantearse en Japón un marco que permitiera el desarrollo de enfoques de diseño basados en esta filosofía

Por otra parte, en la última década, el diseño en base al desempeño del edificio cada vez ha ido tomando más relevancia en la ingeniería estructural sismo-resistente en el mundo entero. "Aquí, las estructuras son diseñadas para lograr un desempeño.

En el Ecuador después del sismo del 4 de agosto de 1998 ($M_s = 7.1$), registrado frente a las costas de Bahía de Caráquez, el cual tuvo una profundidad focal de 37 km., causo el colapso del edificio Calipso de 6 pisos y dejo a los edificios: Karina de 4 pisos, Corales de 5 y el del Cuerpo de Bomberos muy cerca del fallo, se ha planteado la necesidad de seguir estudiando e investigando sobre cómo tener estructuras más seguras en el país, y particularmente en la ciudad de Jipijapa que es donde se centra el presente estudio.

En nuestro país por lo general utilizar pórticos tridimensionales como elementos sismo-resistente ha sido una práctica común, sin embargo estos han presentado desventajas en el momento de ser solicitado por sismos debido a que disipan la energía, a la que se ven sometidos, con un comportamiento no-lineal, acompañado de grandes deformaciones, que el sistema estructural de pórticos puede llegar a resistir si se diseña adecuadamente, pero

los acabados no , lo que se traduce en daños en elementos no estructurales, aun para sismos moderados.

Así pues es necesario desarrollar e implementar metodologías que conlleven a identificar las fuentes y posibles focos de concentración de daños que se pueden presentar en edificios de nuestro medio.

Las experiencias en el Ecuador y en otros países del continente plantean que además de ser necesario dotar a los edificios de una rigidez adecuada, se debe evitar las posibles irregularidades en planta y altura, transmitir las cargas normales y sísmicas lo más directamente posible a las fundaciones sin cambios bruscos de dirección, evitar los trasposos de cargas a través de los diafragmas, evitar el fenómeno de piso blando, columna corta y cualquier otro tipo de situaciones que signifique concentración de tensiones.

Los factores antes descritos son controlados mediante una estructuración adecuada. La evaluación de la rigidez del edificio y su regularidad, tanto en planta como en altura, desde un punto de vista paramétrico, requiere del cálculo de sus formas vibratorias, o modos de vibrar.

Los sismos son un fenómeno natural que nos ha acompañado desde siempre y que inevitablemente se presentaran en el futuro, esta afirmación tiene su base en que como es conocido la distribución de los sismos en el mundo no es igual, existen lugares donde estos eventos se concentran más, ya sea en cantidad como en intensidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección tiene por objetivo el caracterizar el modelo del edificio en base a pórticos de acuerdo a sus dimensiones generales, disposición de elementos estructurales, y otros parámetros característicos.

En primer lugar se muestra la planta de piso de este edificio, lo que permite visualizar la ubicación de las columnas y las vigas

A continuación se describirá estructuralmente cada modelo del edificio, a partir del prediseño realizado para estimar el tamaño de vigas, losas y columnas. Estos criterios de prediseño son criterios adoptados para efectos de esta investigación.

Para realizar el pre diseño de vigas, se procede a estimar las cargas que actúan sobre el edificio mediante el "Método de las áreas cooperantes

Las secciones de los columnas se determinan de acuerdo a la magnitud del esfuerzo de compresión axial (carga normal) que deben soportar dichas columnas en cada nivel del edificio. Se estiman áreas tributarias de las losas que descargan en las columnas y con dicha carga se calcula la sección de la columna, a partir de las siguientes relaciones:

Modelo del edificio en base a pórticos y muros de corte (sistema dual).

El edificio está constituido estructuralmente por muros y pórticos ubicados en ejes resistentes en direcciones perpendiculares (X e Y) capaces de resistir la acción sísmica y

gravitacional. El edificio puede considerarse empotrado a nivel de primer piso.

Modos y periodos de la estructura en análisis.

Para establecer la sollicitación sísmica se define el espectro elástico de diseño, el cual depende de la zona sísmica y el tipo de suelo.

RESULTADOS

Centro de masas proporcionado por el programa Etabs

A continuación se presenta en la figura los centros de masa y rigidez que nos proporciona el programa de la estructura analizada.

A continuación se presenta en la figura los centros de masa y rigidez que nos proporciona el programa de la estructura analizada.

A continuación se presenta en la figura los centros de masa y rigidez que nos proporciona el programa de la estructura analizada.

Determinación del punto de demanda

El ATC 40, presenta tres procedimientos que son el A, B y C; para determinar en forma interactiva el amortiguamiento viscoso efectivo y el punto de demanda. En el presente estudio en el programa Etabs se utilizara el tipo B para la obtención del punto de demanda.

A continuación se observaran las gráficas para cada uno de los sismos propuestos por VISION 2000, obtenidos del programa Etabs, para el modelo en base a pórticos espaciales.

Análisis comparativos de los drif de los dos modelos

A continuación se presentan unas tablas con los drif de pisos tanto del sistema de pórticos espaciales de hormigón armado como el del sistema en base a pórticos y muros de corte.

CONCLUSIONES

Al realizar el ejemplo de cálculo y diseño del edificio, utilizamos el sismo propuesto en el Código Ecuatoriano de la Construcción, CEC-2002, con este apenas la estructura alcanza el nivel de desempeño de Seguridad de Vida, para este caso es necesario que cumpla algunas condiciones:

No tener irregularidades en elevación y planta.

No tener irregularidades en elevación y planta.

Que no exista problemas de torsión.

Debido a que se consideró a todos los apoyos como empotramientos, las derivas han resultado mayor que si se hubiera considerado la interacción suelo estructura, mediante resortes. Para un edificio de 5 pisos el alcanzar un nivel de Seguridad de Vida implica que

la estructura ha sufrido un daño significativo con la falla parcial de pocos elementos estructurales principales al formarse rótulas plásticas a nivel de vigas, este conserva un margen de seguridad antes del colapso y la estructura puede funcionar luego de unas reparaciones.

Se planteó también el cálculo y análisis de un edificio en base a muros y pórticos, ya que este sistema estructural puede funcionar mejor ante un evento sísmico.

Es importante establecer el nivel de desempeño que tendrá la estructura por medio del push-over.

Se debe buscar una estructuración en base de columnas fuertes vigas débiles, para proporcionar la formación de articulaciones plásticas en las vigas al excederse la resistencia suministrada.

Las derivas debido al sistema de pórticos salieron mayores a las del sistema dual.

Se recomienda introducir a los profesionales de la ingeniería estructural de la ciudad en el análisis, evaluación y diseño por desempeño, para los futuros proyectos que se realicen en la urbe.

Incluir en los proyectos de edificaciones futuras, propuestas sobre sistemas de estructuración en base a pórticos y muros de corte.

REFERENCIAS

- AGUIAR R., (2003), Análisis sísmico por desempeño, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 340 p., Quito
- AGUIAR R., (2006), Deriva máxima de piso y curvas de fragilidad en edificios de hormigón armado, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 188 p. Quito.
- AGUIAR R., (2008), Análisis Sísmico de Edificios, Primera Edición. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 322 p., Quito.
- FEMA 356. 2000. Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, Report 356. Washington D.C.
- GUERRA A., M; CHACON S, D. 2010. Manual para el Diseño Sismorresistente de Edificios utilizando el Programa ETABS, Quito, EC, 402 p.
- JIMÉNEZ, J. Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad de Cuenca mediante técnicas de simulación, Tesis de grado de Maestría. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2002.
- LARRAÍN A. y YÁNEZ F.; “Manual de Cálculo de Hormigón Armado Basado en el Código ACI318-99”, Editado por Gerdau Aza, Junio 2001.
- MALDONADO, E., CHIO, G. Y GÓMEZ, I. Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos, Artículo en revisión, 2007
- MENA, U. Evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas, Tesis Doctoral.

Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2002.

PADILLA, Ángel. (2007). “Diseño sismo – resistente del edificio Valdivia con su respectivo

desempeño y estudio de daño sísmico mediante la técnica de Pushover”, Tesis de Grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.

TERAN A. (2002), “Diseño por desempeño: Antecedentes, Conceptos Generales y Perspectivas”, VII Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica. Diseño por Desempeño, 43 p, Cuernavaca, México.

Valencia Jairo, “Análisis del método “modal push-over” y su Incidencia en el cálculo de pórticos de Hormigón Armado en el cantón de Ambato”. Trabajo estructurado de manera independiente previo a la obtención del título de ingeniero civil.