



Revista EIA
ISSN 1794-1237
e-ISSN 2463-0950
Año XVIII/ Volumen 18/ Edición N.35
Enero-Junio de 2021
Reia35011 pp. 1-16

Publicación científica semestral
Universidad EIA, Envigado, Colombia

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /**

Chaparro, A.C.; Suárez, A.; Benjumea, J.; Villalba-Morales, J.D. (2021).
Desempeño Sísmico y Cantidades de
Obra de Edificaciones Aporticadas de
Concreto Reforzado Diseñadas para
Diferentes Capacidades de Disipación
de Energía.
Revista EIA, 18(35), Reia35011.
pp. 1-16.
<https://doi.org/10.24050/reia.v18i35.1454>

 *Autor de correspondencia:*

Benjumea, J. (José):
Profesor Asistente en Universidad
Industrial de Santander
Correo electrónico:
josbenro@uis.edu.co

Recibido: 06-08-2020
Aceptado: 23-12-2020
Disponible online: 18-01-2021

Desempeño Sísmico y Cantidades de Obra de Edificaciones Aporticadas de Concreto Reforzado Diseñadas para Diferentes Capacidades de Disipación de Energía

ANDREA C. CHAPARRO¹

ALEJANDRO SUÁREZ²

 JOSÉ BENJUMEA³

JESÚS D. VILLALBA-MORALES²

1. Universidad Santo Tomas de Bucaramanga
2. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá
3. Universidad Industrial de Santander

Resumen

La aplicación del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente implica que se defina la capacidad de disipación de energía (CDE) de la estructura en función de la tipología y la amenaza sísmica del sitio. En esta investigación se determinaron los efectos de elegir una CDE superior a la mínima permitida, en regiones de sismicidad intermedia y baja, sobre las cantidades de materiales y el comportamiento sísmico de edificaciones aporticadas de concreto reforzado. Se diseñaron 20 edificaciones regulares, con variación en altura y longitud de vanos, modificando los parámetros de diseño acorde a la CDE seleccionada. Se seleccionó un subconjunto de estos edificios para evaluar el daño sísmico mediante análisis pushover. Los resultados mostraron que para ambas zonas sísmicas se presenta un menor consumo de acero cuando se diseña con una CDE moderada y que la selección de una CDE mayor a la mínima resultaría en mayores niveles de daño sísmico.

Palabras Claves: pórticos, concreto reforzado, disipación de energía, amenaza sísmica, ductilidad, análisis pushover.

Seismic Performance and Materials Quantities of Reinforced Concrete Frame Buildings Designed for Different Energy Dissipation Capacities

Abstract

The use of the Colombian seismic design and construction code requires the selection of an energy dissipation capacity (EDC) for the building that depends on the structural type and the seismic hazard at the site. This work investigates the effects on the materials quantities and the seismic behavior of reinforced concrete buildings due to the selection of an EDC superior to the minimum required for low and intermediate seismic regions. Twenty regular buildings with variations in bay lengths and height were designed according to the parameters and requirements for each EDC. Pushover analyses were performed to assess the potential seismic damage in a subset of those buildings. The results showed that the lowest amount of reinforcement in both seismic regions is obtained by selecting a moderate CDE, and that higher levels of seismic damage could occur when a CDE superior to the minimum is selected.

Key Words: frame, reinforced concrete, rnergy dissipation, seismic hazard, ductility, pushover analysis.

Introducción

El desarrollo tecnológico en la ingeniería civil ha traído consigo avances en las normativas para el diseño de estructuras con el fin de que estas soporten satisfactoriamente las solicitaciones impuestas por fenómenos naturales como los sismos. En Colombia, la normativa vigente para el diseño de edificaciones es el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10 (AIS, 2010) el cual relaciona los niveles de desempeño sísmico esperados según el nivel de amenaza y el tipo de uso de la edificación. Así, un edificio residencial diseñado según el Reglamento Colombiano no debería presentar daños ante temblores de poca intensidad, podría tener daño en elementos no estructurales ante sismos de intensidad moderada, y podría presentar daño sustancial en elementos estructurales y no estructurales, sin colapso, luego de un evento sísmico fuerte.

En el caso de estructuras de pórticos resistentes a momentos, Moehle (2015) destaca que a partir de experiencias de sismos en el pasado y estudios experimentales y analíticos se pueden aplicar ciertos principios de diseño para garantizar que el sistema estructural pueda soportar la incursión en rangos inelásticos sin decaimiento significativo en su resistencia. Estos principios consisten en: detallar el refuerzo longitudinal y transversal de las vigas y columnas para obtener una respuesta dúctil, garantizar el mecanismo de columna fuerte y viga débil, evitar modos de falla frágiles en los elementos y nudos, y reducir la interacción entre elementos estructurales y no estructurales. En NSR-10, el nivel de detallamiento permite que se obtengan estructuras con capacidad de disipación de energía mínima (DMI), moderada (DMO) o especial (DES), relacionadas con cada uno de los niveles de comportamiento indicados anteriormente.

En el reglamento NSR-10 se observa que el territorio colombiano se encuentra clasificado en términos de la amenaza sísmica (alta, media y baja). En ese sentido, según el nivel de amenaza del lugar de construcción, la estructura debe ser diseñada con un nivel mínimo de ductilidad que le permita responder de manera óptima al sismo de diseño correspondiente (se espera disipación de energía significativa, para la cual se aprovecha al máximo la capacidad de los materiales que conforman el sistema estructural propuesto). Es así, que para una estructura localizada en zona de amenaza sísmica alta se requiere un detallado especial DES, para una sismicidad intermedia el detallado mínimo corresponde a la capacidad de disipación moderada DMO, mientras que para una edificación en zona de amenaza sísmica baja se podría utilizar un detallado DMI, como mínimo. Sin embargo, en la forma como se presenta el texto de la NSR-10, en especial en el comentario CR21.1.1, es posible utilizar un nivel de detalle del refuerzo longitudinal y transversal más alto que el mínimo requerido para los niveles de amenaza sísmica bajo e intermedio. Esta estrategia de diseño es comprensible dado que debe estar a criterio del propietario o del diseñador establecer un mejor nivel de desempeño para la edificación a la hora que acontezca el sismo de diseño.

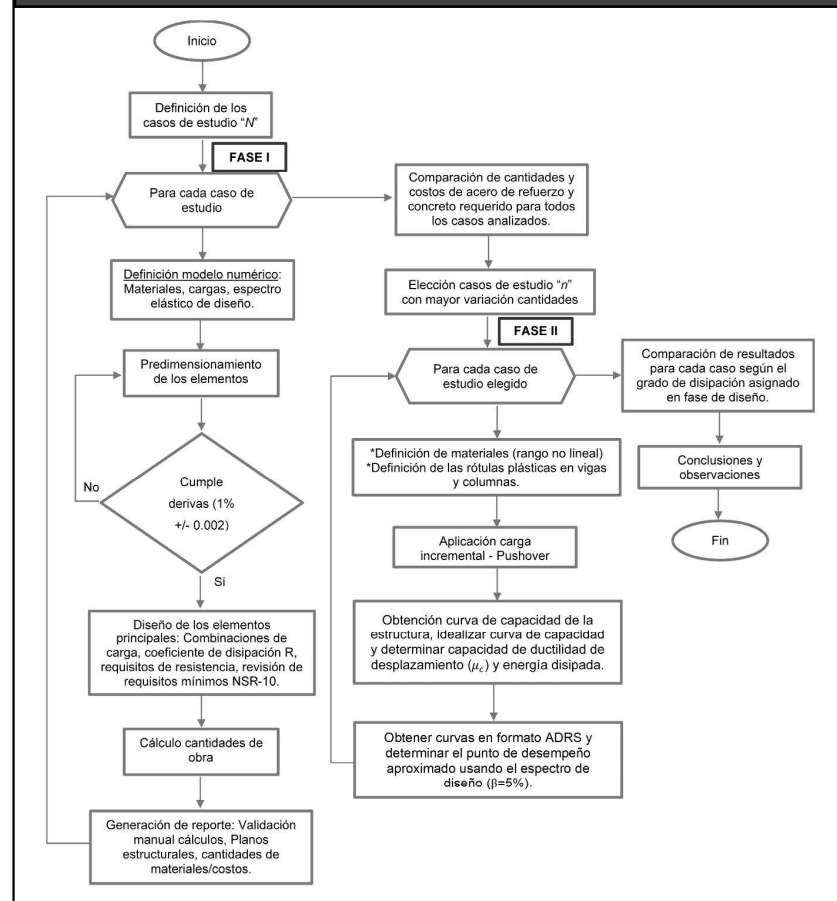
De acuerdo con lo anterior, la selección de una capacidad de disipación de energía sísmica diferente a la mínima requerida no solo afecta el nivel de desempeño de la edificación, sino que también impacta las cantidades de obra de los elementos del sistema de resistencia lateral. Esto se debe, principalmente, al uso de menores niveles de fuerzas sísmicas de diseño como resultado del aumento del coeficiente de disipación de energía (R), a pesar de que existan requisitos más restrictivos para el detallamiento del refuerzo. En ese sentido, estudios analíticos previos para edificaciones de mediana altura con muros en concreto reforzado demostraron que el uso de capacidades DMO y DES en zonas de baja sismicidad Benjumea (2017) y de capacidad DES en zonas de sismicidad intermedia Prada (2017) resultan en reducciones de las cantidades de refuerzo de la estructura. Por otra parte, el estudio paramétrico de Barraza-Martínez (2019) para edificaciones aporticadas de concreto reforzado llegó a resultados similares a los de Benjumea (2017) para las zonas de baja sismicidad, aunque en las zonas con sismicidad intermedia los autores encontraron que las estructuras DMO consumen menor cantidad de acero que las DES. En todos los casos, se reportaron variaciones despreciables o nulas en las cantidades de concreto puesto que las dimensiones de los elementos fueron gobernadas por el control de derivas.

Aunque los estudios citados previamente reflejan un conocimiento medianamente maduro con relación al efecto sobre las cantidades de obra de estructura que tiene la utilización de una categoría de capacidad de disipación de energía superior, existe un vacío de conocimiento acerca del impacto de dicho cambio en el desempeño estructural de la edificación bajo el sismo de diseño. Entender dicho aspecto es de gran importancia puesto que, aunque la capacidad de desplazamiento sísmico incrementa al usar un mejor grado de detallamiento del refuerzo, la resistencia global de la edificación disminuye y se podría presentar un mayor nivel de daño en la estructura para el sismo de diseño o incluso para sismos de menor intensidad. Lo anterior presentaría cierta oposición al objetivo de desempeño especificado en el reglamento NSR-10. De esta manera se propone esta investigación, que tiene como propósito determinar el efecto que tiene la selección del nivel de capacidad de disipación de energía, según NSR-10, sobre las cantidades de obra de estructura y el desempeño sísmico de edificios simétricos de pórticos resistentes a momentos en concreto reforzado diseñados para zonas de amenaza sísmica baja e intermedia.

Materiales y métodos

Para conseguir los objetivos del trabajo se diseñaron los elementos principales (vigas y columnas) de un conjunto de 8 edificios de concreto reforzado con sistema aporticado localizados en zonas de amenazas sísmica baja (ZAB) e intermedia (ZAI). El diseño estructural se hizo de acuerdo con los requisitos establecidos en el reglamento NSR-10, usando las capacidades de disipación de energía permitidas en cada caso. Se determinaron las cantidades de materiales (concreto y acero) asociados con los diseños obtenidos y se analizó la influencia del número de pisos y la longitud de los vanos en las configuraciones estructurales en estos resultados. El trabajo se limitó a edificaciones regulares en planta y altura, excluyendo así la influencia de la torsión sobre los análisis realizados. La figura 1 muestra el procedimiento general seguido en el trabajo, el cual se dividió en dos fases: (I) análisis lineal y diseño de las edificaciones y (II) análisis no lineal. La primera fase y los resultados respectivos presentados en este artículo se basaron en el trabajo reportado en Chaparro (2017). En la figura 1, los términos N y n corresponden al número de casos analizados en las fases I y II, respectivamente. Los aspectos metodológicos de cada fase se discuten a continuación.

Figura 1. Diagrama de flujo procedimiento del estudio: FASE I análisis y diseño y FASE II análisis no lineal.



Fase I: Análisis Lineal y Diseño de Edificaciones

La tabla 1 y la figura 2 muestran los casos de estudio y una representación espacial de las estructuras analizadas, respectivamente. Como se observa en la figura 2, las edificaciones tienen tres vanos en cada dirección principal, resultando en un área en planta de 225 m² y 576 m² para los edificios con luces (L) de 5 y 8 m, respectivamente. La altura de entrepiso es constante en todos los casos e igual a 2,8 m, resultando en edificaciones con alturas de 14 m y 28 m para los edificios con 5 y 10 pisos, respectivamente. Se usó una resistencia a la compresión del concreto (f'_c) de 28 MPa, con módulo de elasticidad (E) de 24.870 MPa, mientras que las barras de refuerzo se asumieron con una resistencia nominal a la fluencia (f_y) de 420 MPa y E=200 GPa.

Tabla 1. Casos de estudio.

Caso (Nomenclatura)		Zona Sísmica	No. de niveles	Longitud de vanos	Capacidad de disipación de energía		
					DES (R=7)	DMO (R=5)	DMI (R=2.5)
C1	(ZAB-N5-L5)	Baja	5	5 m	✓	✓	✓
C2	(ZAB-N5-L8)		5	8 m	✓	✓	✓
C3	(ZAB-N10-L5)		10	5 m	✓	✓	✓
C4	(ZAB-N10-L8)		10	8 m	✓	✓	✓
C5	(ZAI-N5-L5)	Intermedia	5	5 m	✓	✓	No aplica
C6	(ZAI-N5-L8)		5	8 m	✓	✓	No aplica
C7	(ZAI-N10-L5)		10	5 m	✓	✓	No aplica
C8	(ZAI-N10-L8)		10	8 m	✓	✓	No aplica

Las cargas aplicadas a la edificación correspondieron a las cargas muertas, vivas y de sismo. La carga muerta total de entrepiso sin considerar el peso propio de las vigas y columnas fue 7,2 kN/m², mientras que la carga viva fue de 1,8 kN/m² (uso residencial) de acuerdo con el reglamento NSR-10. El peso propio de las vigas y columnas fue calculado automáticamente por la herramienta de análisis asumiendo un peso específico para el concreto reforzado de 24 kN/m³. El análisis y diseño de las estructuras fue realizado teniendo en cuenta las consideraciones mínimas establecidas en el reglamento NSR-10, considerando que las edificaciones son de ocupación normal (grupo 1).

Figura 2. Visualización 3D de las estructuras analizadas: edificios con 5 (izquierda) y 10 (derecha) pisos.

