



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Evaluación de la influencia de distintos grados de acero de refuerzo en el desempeño sísmico de edificaciones aporticadas con análisis estático no lineal

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Civil

AUTORES

Navarro Valenzuela, Deleine Flor (0000-0002-5860-3539)

Valero Gutiérrez, Rosa (0000-0002-2658-8637)

ASESOR

Orihuela Dávila, Junior Didi (0000-0002-0209-2055)

Lima, 04 de febrero del 2020

DEDICATORIA

A nuestras familias, por estar al lado de nosotros y ser nuestra motivación para superar todos los obstáculos y poder lograr cumplir con nuestras metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todo los profesores que nos transmitieron conocimientos y valores durante el periodo de nuestra vida universitaria y al asesor por darnos su apoyo durante el desarrollo del trabajo de investigación. Asimismo, un especial agradecimiento al ingeniero David Álvarez Miranda por su valiosa orientación y aportaciones que nos hizo para mejorar la presente investigación.

RESUMEN

En esta investigación, se evalúa el comportamiento elasto- plástico y el desempeño sísmico de estructuras aporticadas aplicando el método Pushover. Esta evaluación se hace sobre diversos casos de edificios reforzados con acero de alta ductilidad (Grado 40), acero convencional (Grado 60) y acero de alta resistencia (Grado 75). Para lo anterior, se realiza la evaluación de la capacidad de deformación de los elementos estructurales a partir de las gráficas de momento-rotación de los elementos estructurales más críticos que causa el colapso de la estructura. También, se utilizó la gráfica de curva de capacidad obtenida a partir del método de coeficientes de desplazamiento para medir la capacidad de la estructura. Teniendo en cuenta los valores resultantes de ductilidad y rigidez de cada caso, se evalúa el desempeño de la estructura para diferentes niveles de diseño sísmico. Los resultados mostraron que reforzar una estructura con un acero de Grado 40 aumenta la capacidad de disipación de energía, y si se refuerza con acero de grado 75 aumenta la capacidad de resistencia en la estructura. Finalmente, se presenta el resultado comparativo de los diversos casos para demostrar la influencia del acero de refuerzo en el comportamiento plástico de las estructuras de concreto armado.

Palabras claves: Desempeño sísmico; análisis estático no lineal; Pushover; aceros de refuerzos de alta resistencia, aceros de refuerzo de alta ductilidad, estructura de concreto armado

Evaluation of the influence of different grades of reinforcing steel on the seismic performance of buildings provided with nonlinear static analysis

ABSTRACT

In this investigation, the elasto-plastic behavior and the seismic performance reinforced structures by applying the Pushover method. This evaluation is done on several cases: with high ductility steel (Grade 40), conventional steel (Grade 60) and high strength steel (Grade 75). For the previous, the evaluation of the deformability of the structural elements is made from the moment-rotation graphs that cause the structure to collapse. The capacity curve graph obtained from the displacement coefficient method was used to measure the capacity of the structure. In addition, the performance of the structure for different levels of seismic design are evaluated with the resulting values of ductility and rigidity of each case. The results showed that reinforcing a structure with a Grade 40 reinforcing steel increases the energy dissipation capacity, and if reinforced with a Grade 75 reinforcing steel increases the strength capacity in the structure. Finally, the comparative result of the various cases are presented to demonstrate the influence of reinforcing steel on the plastic behavior of reinforced concrete structures.

Keywords: Seismic performance; nonlinear static analysis; Pushover; High strength reinforcement steels, high ductility reinforcement steels, reinforced concrete structure.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCION	1
2	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	2
3	RESULTADOS	3
3.1	MODELOS ESTRUCTURALES	3
3.2	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	4
3.3	CURVA DE CAPACIDAD	5
3.4	DEMANDA SÍSMICA Y DESEMPEÑO SÍSMICO	6
3.5	CAPACIDAD Y DEMANDA DE RESISTENCIA	7
3.6	CAPACIDAD Y DEMANDA DE RIGIDEZ.....	8
3.7	CAPACIDAD Y DEMANDA DE DUCTILIDAD.....	9
3.8	VERIFICACIÓN DE LA DERIVA LATERAL	11
4	CONCLUSIONES	11
5	REFERENCIAS	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Descripción de los casos de estudio	4
Tabla 2.Desempeño sísmico según el caso de estudio para un objetivo básico	6
Tabla 3.Demanda sísmica de los casos de estudio	7

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de momento rotación de las vigas más críticas de cada caso	5
Figura 2. Curva de capacidad de los 5 casos de análisis	6
Figura 3.Capacidad de resistencia de los 5 modelos de análisis	8
Figura 4.Demanda de resistencia para los periodos de retorno según VISION 2000	8
Figura 5.Capacidad de rigidez de las 5 estructuras	9
Figura 6.Demanda de rigidez de las estructuras reforzadas con diferentes grados de acero. 9	
Figura 7.Capacidad de ductilidad de los 5 casos de análisis	10
Figura 8.Demanda de ductilidad en función de los periodos de retorno	10
Figura 9.Demanda de deriva lateral y limites según ATC-40,FEMA 273,BERTERO Y VISION 2000.....	11

1 Introducción

En los últimos 30 años, los desastres que han venido sucediendo por los fuertes movimientos sísmicos, han dejado estructuras con daños severos y, en otros casos, estructuras inhabitables. Entre los más devastadores se encuentran los siguientes: El terremoto del sur del Perú de 2001 de magnitud 8.4, Sumatra- Andamán de 2004 de magnitud 9.1, el terremoto de Haití de 2007 de magnitud 7.0 y el de la costa del Pacífico en la región del Tohoku de 2011 de magnitud 9.1. A pesar de que estos sismos sucedieron en diferentes lugares todos evidenciaron una similar actividad sísmica, porque se conectan a través del Cinturón de Fuego del Pacífico. Estos hechos han llevado a estudiar distintos dispositivos, técnicas y métodos para reducir las vibraciones de las estructuras y evitar que estas fallen por deformación.

Con referencia a lo mencionado en el párrafo anterior, las estructuras sometidas a movimientos sísmicos de gran magnitud presentan problemas de reducción de rigidez y resistencia al corte, lo que causa el incremento de la demanda de ductilidad. Esto hace que las columnas en la base fallen antes que las vigas y como consecuencia las estructuras colapsen [1]. En este sentido, esta investigación se enfoca en la evaluación de la influencia del acero de refuerzo en viviendas de concreto armado con un análisis estático no lineal. Cuando los elementos estructurales llegan a su límite elástico, el concreto deja de trabajar y la deformación inelástica es asumida únicamente por las propiedades del acero de refuerzo.

En cuanto a la influencia del grado de acero en estructuras de concreto armado, se ha considerado el estudio experimental de los elementos de concreto y acero, ambos de alta resistencia. Para estructuras sometidas a sismos severos, las columnas de la planta baja deben ser capaces de desarrollar suficiente ductilidad. Por eso, es necesario que las estructuras disipen gran cantidad de energía, por lo que es mejor realizar un diseño estructural con acero de alta resistencia en lugar de diseñar con concreto de alta resistencia [2,3]. Además, las edificaciones con columnas reforzadas con aceros de mayores al grado 60 proporcionan mayor resistencia a la carga lateral y a un menor costo de reparación, en comparación con el acero convencional y sistemas de control estructural activo (aisladores sísmicos, amortiguadores de masa sintonizada, disipadores de fluido viscoso) [1]. La cantidad de refuerzo longitudinal en las columnas, se puede disminuir en proporción directa a un aumento del límite elástico del acero de refuerzo para resistir las fuerzas axiales a las que están sometidas [4]. Por otro lado, el acero de refuerzo en las vigas se encuentra en tracción. Entonces, el acero cede antes que el concreto alcance su esfuerzo máximo a la compresión;

por tanto, se sugiere reforzar con acero de alta ductilidad [5]. Para todo ello, si se diseñan las estructuras con acero de refuerzo de alta resistencia deberán ser menores a 120Ksi para evitar fallas frágiles [6].

En cuanto al análisis estático no lineal y la evaluación del desempeño sísmico, una referencia fundamental es el código ASCE 41-13, el cual proporciona procedimientos para determinar el desempeño mencionado por el método de los coeficientes de desplazamientos. Este análisis ha demostrado que la respuesta estructural es más exacta con el método de diseño por desplazamientos que con el método basado en fuerzas, ya que la deformación inelástica es la causa principal de posible colapso estructural. Por esta razón, algunas investigaciones concluyen que la evaluación de los puntos de concentración de esfuerzos garantiza elementos estructurales que soporten demandas de deformación inelástica [7].

Por lo tanto, esta investigación compara diversos casos de estructuras apertadas reforzadas con diferentes grados de acero de refuerzo con el objetivo de identificar los mecanismos de falla con las rótulas plásticas en los elementos estructurales; y determinar la capacidad de la estructura. Por último, se evalúa el desempeño de la estructura para diferentes niveles de diseño sísmico para un objetivo básico la resistencia, ductilidad y degradación de la rigidez.

1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La evaluación de las estructuras con los diferentes grados de acero se realizó mediante un software computacional. Para realizar la modelación se debe contar con todas las dimensiones de los elementos estructurales, las cargas de servicio, así como la cantidad y las respectivas características de las barras de acero de refuerzo. Con el modelo computacional terminado se procede a analizar los diferentes modos de vibración a través de un análisis modal espectral. Este análisis es esencial para realizar el Pushover.

Después de realizar análisis estático y dinámico lineal se realiza el análisis estático no lineal de la estructura siguiendo el procedimiento de la norma ASCE41-13, este análisis incluye el comportamiento no lineal de los elementos, agrietamiento, rótulas plásticas, degradación de la rigidez y la pérdida de la resistencia a fuerzas externas. En cuanto al comportamiento no lineal de los materiales se ingresó las curvas de esfuerzo-deformación, para el acero de refuerzo se utiliza el modelo Park, y para el hormigón no confinado y confinado el modelo Mander (1988).

El diseño de las rotulas plásticas para estructuras mayores a 3 niveles es recomendable realizar en base al modelo de plasticidad concentrada, según FEMA. Asimismo, para llevar a cabo el análisis inelástico para las vigas se considera el diagrama de momento-curvatura de la sección más crítica. Pero para el diseño de las rotulas plásticas de las columnas se requiere el uso de diagrama de interacción de la sección transversal, que se debe calcular para cada sección transversal de todas las columnas de la estructura. Estas son definidas por parámetros del ASCE 41-13 a través de la curva de fuerza vs deformación generalizada, adecuada para la mayoría de los componentes de concreto. Los parámetros de modelación dependen del tipo de elemento estructural, clasificado como primario y secundario, en la estructura analizada predominan los elementos primarios ya que resistirá un colapso frente a cargas sísmicas.

Además, para la realización de este análisis, se aplica un patrón de carga lateral triangular incremental, que fueron definidas mediante la aproximación de las fuerzas inerciales que ocurrirán ante un evento sísmico según el modo de vibración predominante de la estructura. De todo este análisis se obtiene las gráficas de curvas de capacidad del edificio. Por último, se evalúa el desempeño estructural con el Método de los Coeficientes de Desplazamiento para lo cual se tendrá en cuenta los conceptos de demanda sísmica, y niveles y objetivos de desempeño

2 RESULTADOS

A continuación, se exponen los resultados del estudio de la influencia de acero de refuerzo (grado 40, 60 y 75) en una estructura de concreto armado obtenidos del análisis inelástico de los cinco casos de estudio. A partir de este análisis, se obtiene la curva de capacidad que se representa con los valores de cortante basal y el desplazamiento para cada caso estudiado. El resultado permite conocer la capacidad de la estructura en función de resistencia, rigidez y ductilidad estructural. También, se verifica el objetivo de “diseño por capacidad” con el método de los coeficientes de desplazamiento.

2.1 Modelos estructurales

Los casos planteados para evaluar la influencia del acero de refuerzo en la capacidad y desempeño sísmico de las estructuras de concreto armado son los siguientes:

Tabla 1. Descripción de los casos de estudio

Caso	Con acero de refuerzo (Grado)		Número de pisos	f'c (kg/cm ²)
	Columnas	Vigas		
1	40	40	4	280
2	60	60	4	280
3	75	75	4	280
4	75	40	4	280
5	75	75	4	210

Por ejemplo, el caso 4 es una estructura de cuatro niveles en el que las columnas están reforzadas con acero de grado 75 y las vigas están reforzadas con acero de grado 40 ambas diseñadas con un $f'c=280\text{kg/cm}^2$.

Después del análisis se obtiene 10 gráficas de curvas de capacidad que relacionan la fuerza de cortante basal con el desplazamiento del punto de monitoreo ubicado en el centro de masa del último nivel del edificio. El análisis fue realizado para dos direcciones: +X,+Y. Sin embargo, solo se muestra las curvas de capacidad más representativa para cada caso.

Los niveles de desempeño a evaluar son los siguientes: totalmente operacional, ocupación inmediata, límite de seguridad de vida y prevención del colapso, según el código ASCE 41-13. Ahora bien, para esta investigación se considera 4 niveles de demanda sísmica definidos según su probabilidad de ocurrencia y periodo de retorno, los cuales son frecuente, ocasional, raro y muy raro. Asimismo, el grado de daño para diferentes intensidades de sismo es evaluado para el nivel de objetivo de desempeño básico.

Finalmente, para validar los resultados, las derivas laterales son comparadas con los límites propuestos por las normas ATC-40, FEMA 273, BERTERO Y VISION 2000 para los diferentes niveles de desempeño sísmico

2.2 Evaluación de la capacidad de los elementos estructurales

Para los edificios, después de aplicar el análisis estático no lineal, se aplica una fuerza incremental en función a los pasos. Luego se identifica el lugar donde ocurre el primer mecanismo de falla que origina que la estructura colapse y que el número de pasos de desarrollo de la estructura ya no continúe. En el formato de la rótula diseñada, se dibuja la capacidad de momento de rotación para cada paso hasta que alcance su máxima capacidad.

De los resultados, el pórtico de la estructura reforzada con acero de alta ductilidad en las vigas y con acero de alta resistencia en las columnas (caso 4) y el pórtico de la estructura reforzada con acero de grado 60 en su totalidad (caso 2) tienen la capacidad de seguir desplazándose después de alcanzar su rotación y momento de rotación último. Por otro lado, el pórtico de la estructura con acero de grado 75 en su totalidad con un $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ y $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ (caso 3) y (caso 5) respectivamente; son los que más capacidad de momento de rotación y rotación última tienen. Sin embargo, colapsan al alcanzar sus condiciones últimas.

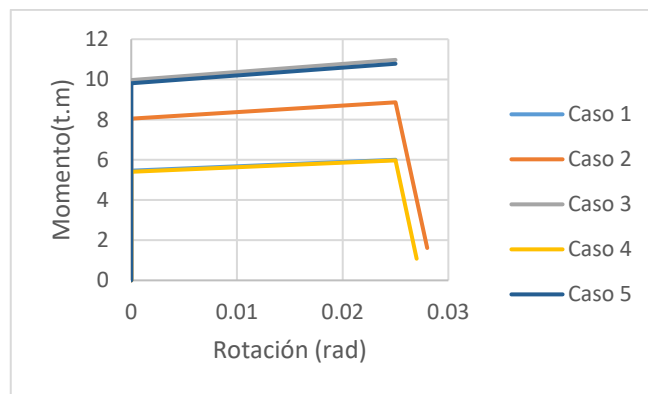


Figura 1. Diagrama de momento rotación de las vigas más críticas de cada caso

2.3 Curva de capacidad

En la fig. 2 se presentan las curvas de capacidad obtenidas del análisis estático no lineal, se observa que, indistintamente de qué grado de acero se encuentre reforzada la estructura, la capacidad de resistencia y desplazamiento es el mismo hasta cierto punto del rango lineal. Sin embargo, cuando la estructura llega a su punto de cedencia, el desplazamiento y resistencia comienza a variar. Para los casos de edificios señalados en el presente estudio, se observa una mayor diferencia en la variación de resistencia a comparación del desplazamiento último que es similar para todas las estructuras. La mayor variación en el comportamiento de la estructura es la capacidad de disipación de energía, puesto que la estructura reforzada en su totalidad con grado 40 es 52% más dúctil que la estructura reforzada con grado de acero 75 y 29% más dúctil que la estructura reforzada con grado 60.

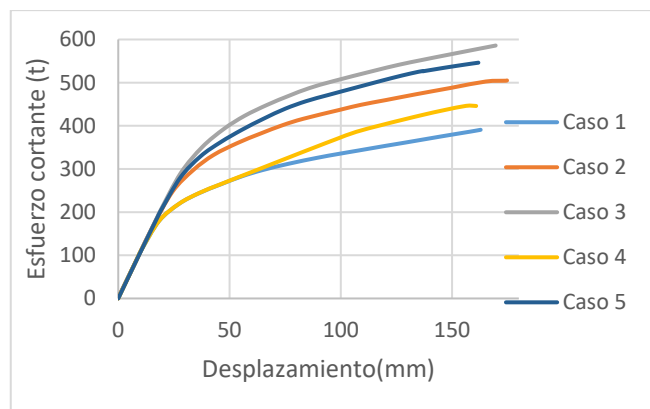


Figura 2. Curva de capacidad de los 5 casos de análisis

2.4 Demanda sísmica y desempeño sísmico

Para los niveles de diseño sísmico ocasional de periodo de retorno de 72 años, un sismo excepcional de periodo de retorno de 475 años y para un sismo extremo de periodo de retorno de 975 años, en todos los casos planteados, cumplen para un objetivo básico (este se define para el uso de edificios que se realizó en esta investigación). Sin embargo, para un sismo frecuente de periodo de retorno de 43 años, en la mayoría de los casos, no cumplen con el nivel de desempeño completamente operacional. Solo el caso 3, que es la estructura reforzada con grado de acero 75, cumple con todos los niveles de desempeño.

Tabla 2. Desempeño sísmico según el caso de estudio para un objetivo básico

Caso	43 años	72 años	475 años	975 años
1	Ocupación inmediata	Ocupación inmediata	Límite de seguridad de vida	Límite de seguridad de vida
2	Ocupación inmediata	Ocupación inmediata	Límite de seguridad de vida	Límite de seguridad de vida
3	Totalmente operacional	Ocupación inmediata	Operacional inmediata	Límite de seguridad de vida
4	Ocupación inmediata	Ocupación inmediata	Límite de seguridad de vida	Cerca del colapso
5	Ocupación inmediata	Ocupación inmediata	Límite de seguridad de vida	Límite de seguridad de vida

	Indica que debe estar en un nivel de desempeño anterior al que se encuentra.
	Alcanza el nivel de desempeño requerido.

Tabla 3. *Demanda sísmica de los casos de estudio*

Caso	Desplazamiento (mm)				Límites de nivel de desempeño			
	43 años	72 <i>años</i>	475 <i>años</i>	975 <i>años</i>	TO	IO	LS	CP
1	38	48	92	104	25	66	108	163
2	36	44	82	92	34	76	119	175
3	35	43	78	88	39	78	117	170
4	38	48	97	110	25	66	106	161
5	38	45	81	90	37	74	112	162

TO: Totalmente operacional

IO: Ocupación inmediata

LS: Seguridad de vida

CP: Prevención al colapso

2.5 Capacidad y demanda de resistencia

La capacidad de resistencia a fuerzas cortantes sísmicas incrementa cuando el límite elástico del acero aumenta, como se puede observar en la Fig. 3. Un edificio reforzado con acero de alta resistencia en los elementos verticales y con acero de alta ductilidad en las vigas (caso 4) es más resistente que un modelo reforzado con acero de grado 60 íntegramente. Además, si se refuerza con acero de alta resistencia y se disminuye el esfuerzo a la compresión del concreto (caso 5), este puede ser más resistente que un modelo reforzado con acero convencional y diseñado con concreto de mayor resistencia (caso 2).

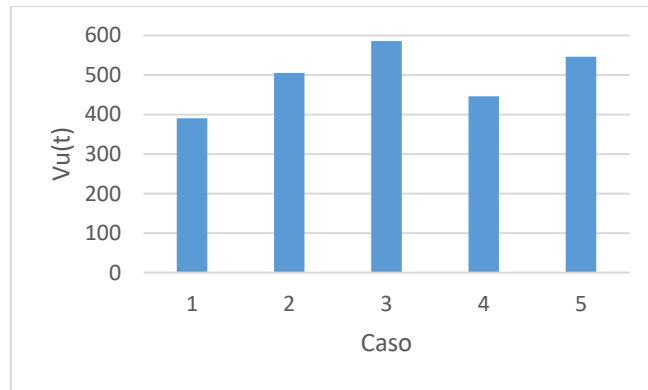


Figura 3. Capacidad de resistencia de los 5 modelos de análisis

Por otro lado, los resultados indican que la demanda de resistencia aumenta cuando incrementa la severidad o el periodo de retorno es mayor. Además, los edificios reforzados con acero de alta resistencia (casos 3 y 5) tienden a resistir mayores demandas de resistencia.

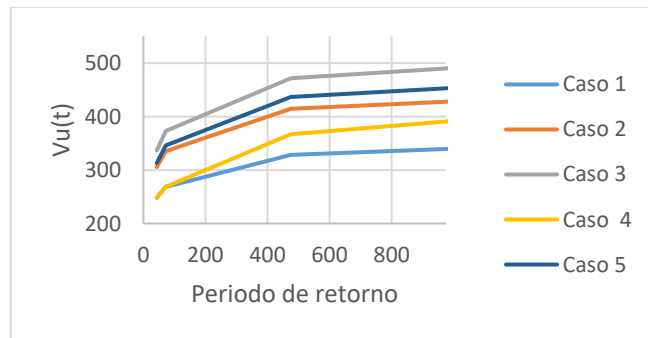


Figura 4. Demanda de resistencia para los periodos de retorno según VISION 2000

2.6 Capacidad y demanda de rigidez

De la comparativa, la estructura reforzada con acero de grado 75 en columnas y de grado 40 en las vigas (caso 4) solo es 1 % más rígida que la estructura reforzada con acero de refuerzo grado 40 en su totalidad (caso 1), es 2 % menos rígida que la estructura reforzada con acero de grado 60 en su totalidad (caso 2) y 3 % menos rígida frente a una estructura reforzada con acero de grado 75 en su totalidad (caso 3). Además, si se refuerza con acero de alta resistencia y se disminuye el esfuerzo a la compresión del concreto (caso 5), esta es menos rígida que una estructura reforzada con acero de grado 75 y con $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (caso 3) y la rigidez es similar a una estructura reforzada con acero convencional grado 60 y con $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ (caso 2).

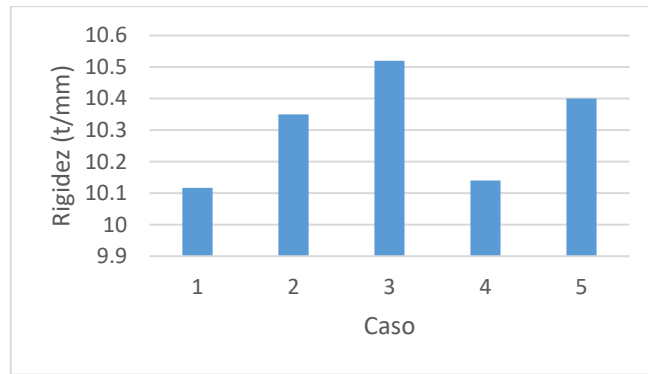


Figura 5. Capacidad de rigidez de las 5 estructuras

Por otro lado, la demanda de rigidez disminuye cuando el nivel de diseño sísmico o periodo de retorno aumenta. Además, la estructura reforzada con acero de refuerzo de alta ductilidad en las vigas y con acero de refuerzo de alta resistencia en las columnas (caso 4) tiende a resistir más demanda de rigidez. La demanda de rigidez de un sismo frecuente de 43 años a un sismo muy raro de 950 años de periodo de retorno tiene una pérdida de rigidez de 1% para una estructura diseñada con acero de alta resistencia y con $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$. Sin embargo, para una estructura reforzada con acero de refuerzo grado 60 en su totalidad (caso 2) aumenta en 2%. De lo anterior, también se observa que la pérdida de rigidez varía según la resistencia a compresión del concreto.

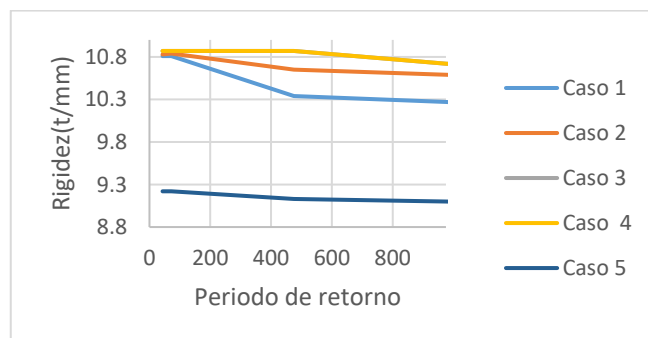


Figura 6. Demanda de rigidez de las estructuras reforzadas con diferentes grados de acero

2.7 Capacidad y demanda de ductilidad

La estructura reforzada con acero de refuerzo grado 40 en las vigas y con grado 75 en las columnas (caso 4) es 27% más dúctil que la estructura reforzada con acero de refuerzo grado 60 en su totalidad (caso 2). Además, cuando se refuerza con acero de refuerzo grado 75 y se diseña con un $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ (caso 5) es 2% más dúctil que una estructura reforzada también con acero de refuerzo de grado 75, pero con un $f^c=280 \text{ kg/cm}^2$.

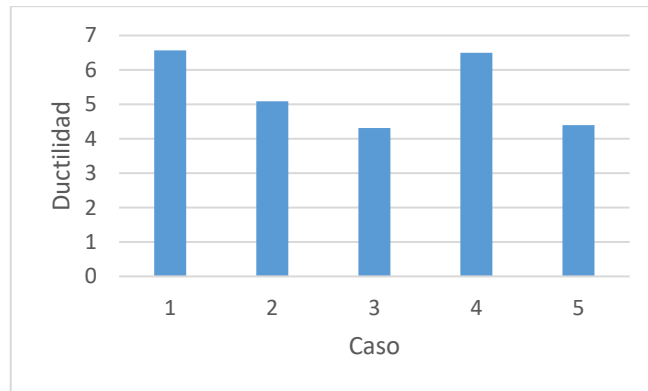


Figura 7. Capacidad de ductilidad de los 5 casos de análisis

Por otro lado, la demanda de ductilidad incrementa cuando aumentan las solicitaciones sísmicas o el periodo de retorno. También, la estructura reforzada con acero de refuerzo de alta ductilidad en las vigas y con acero de refuerzo de alta resistencia en las columnas (caso 4) tiene mayor capacidad de resistir la demanda de desplazamiento.

La demanda de ductilidad para un sismo frecuente de 43 años de periodo de retorno a un sismo muy raro de 950 años de periodo de retorno aumenta más para una estructura reforzada con acero de refuerzo grado 40 en sus vigas y grado 75 en columnas (caso 4) frente a los demás casos planteados en 80%. A ello le sigue la estructura reforzada con acero de refuerzo grado 40 en su totalidad (caso 1) que aumenta en un 62%. Sin embargo, para una estructura reforzada con acero de refuerzo grado 60 en su totalidad (caso 2) aumenta en 57 % y para una estructura reforzada con acero de refuerzo grado 75 en su totalidad y con un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (caso 5) frente a los demás casos planteados aumenta en 43 %.

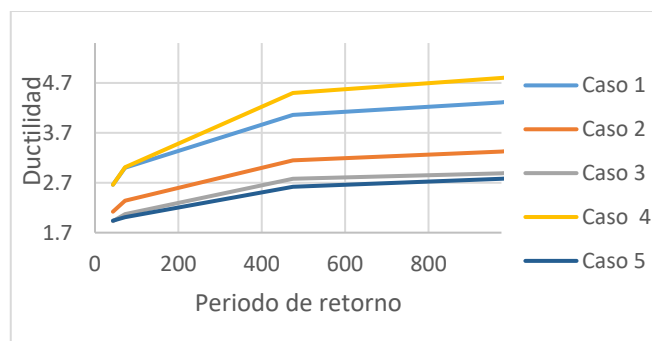


Figura 8. Demanda de ductilidad en función de los periodos de retorno

2.8 Verificación de la deriva lateral

La validación de los modelos se realiza con las derivas laterales para un nivel de desempeño sísmico de prevención de colapso con los límites que establece las normas ATC-40, FEMA 273, BERTERO Y VISION 2000.

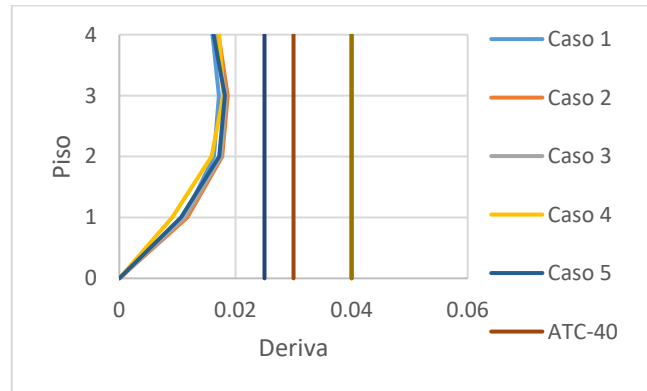


Figura 9. Demanda de deriva lateral y límites según ATC-40, FEMA 273, BERTERO Y VISION 2000

3 CONCLUSIONES

Se evaluó la influencia del acero de refuerzo en el desempeño sísmico de edificaciones de concreto armado. Los resultados mostraron que es recomendable realizar el diseño estructural combinando diferentes grados de refuerzos en los elementos estructurales. Cada elemento soporta diferentes tipos de esfuerzos: mientras que unos elementos requieren más ductilidad, otros requieren más resistencia. Sobre esta base se realizan las siguientes conclusiones:

El diseño convencional de una estructura reforzada con acero de refuerzo de grado 60 es 23 % más resistente, 29 % menos dúctil y 2.3 % más rígido respecto a una estructura reforzada con acero grado 40. En cambio, es 16 % menos resistente, 15 % más dúctil y 1.6 % menos rígido respecto a una estructura reforzada con acero de grado 75. Esto demuestra que el grado del acero de refuerzo influye en la deformación inelástica de la estructura.

Las vigas que están sometidas a tracción deben ser reforzadas con acero de grado 40, ya que proporciona al elemento mayor ductilidad. En cambio, en las columnas necesitan reforzarse con acero de alta resistencia porque están sometidas a fuerzas axiales. Los resultados de la investigación indican que una estructura con vigas reforzadas con acero de grado 40 y las columnas con acero grado 75 es 16 % menos resistente, 28 % más dúctil y su rigidez es similar con respecto a la estructura reforzada con grado 60.

En cuanto a la estructura reforzada con acero de alta resistencia y con $f'c=210\text{kg/cm}^2$ es 7% menos resistente, y la ductilidad y rigidez son similares respecto a una estructura reforzada con el mismo grado de acero, pero con $f'c =280\text{ kg/cm}^2$. En cambio, es 8 % más resistente, 16 % menos dúctil y la rigidez es similar respecto a una estructura reforzada con acero de grado 60 y con $f'c =280\text{ kg/cm}^2$. En consecuencia, es mejor aumentar la resistencia del acero que del concreto, porque al reducir el $f'c$ de este, se obtiene la misma capacidad de ductilidad y de resistencia de la estructura.

Para futuras investigaciones, se pueden estudiar la influencia del acero de refuerzo en edificios altos de concreto armado con análisis estático no lineal.

4 REFERENCIAS

- [1] Ullad A., Lieping Y. & Xinzheng L. (2006), Passive Control Reinforced Concrete Frame Mechanism with High Strength Reinforcements and its Potential Benefits Against Earthquakes, Tsinghua Science and Technology, 11 (6), 640-647.
- [2] Legeron, F., & Paultre, P. (2003). Uniaxial Confinement Model for Normal and High Strength Concrete Columns, ASCE Journal of Structural Engineering, 29(2), 241-252.
- [3] Kaushik, S.K., Bhargava P. & Sharma U. (2004). Towards the design of ductile reinforced high strength concrete columns, 29th Conference on our world in concrete & structures. Singapore.
- [4] Rautenberg, J.M., Pujol, S., Tavallali, H. & Lepage, A (2011). Reconsidering the use of high-strength reinforcement in concrete columns, Engineering Structures, 37(1), 135-142.
- [5] Jeffrey M., Pujol S., Tavallali H. & Lepage A (2013) .Drift Capacity of Concrete Columns Reinforced with High-Strength Steel, ACI Structural Journal ,110(2), 307-317.
- [6] Puranam A. Y & Pujol S. (2019), Reinforcement Limits for Reinforced Concrete elements with High-Strength Steel, ACI Structural Journal, 116 (5), 201-212.
- [7] Mwafi, A. & Elashi, A. (2002), Overstrength and force reduction factors of multistore reinforced-concrete buildings, Structural Design of Tall Buildings, 11 (1), 329-351.

- [8] Fajfar, P. & Dolsek, M. (2014) Pushover –based analysis in performance-based seismic engineering –a view from Europe. *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering* (32). 265-276 doi: 10.1007/978-94-017-8875-5_19.
- [9] Lin, K.C., Hung, H.H., & Sung, Y.C (2016). Seismic performance of high strength reinforced concrete building evaluated by nonlinear Pushover and dynamic analyses. *International Journal of structural stability and dynamics*, 16(3). 1450107(27 pages). Doi: 10.1142/S0219455414501077
- [10] Xuemei Zhao, Yu-Fei Wu , A.Yt.Leung & Heung Fai Lam (2011). Plastic hinge length in Reinforced Concrete Flexural Members. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.159>
- [11] American Society of Civil Engineering (ASCE/SEI 7-10). (2010). Minimum design loads for buildings and other structures. Unites States.
- [12] American Society of Civil Engineering (ASCE/SEI 41-13). (2010). Minimum design loads for buildings and other structures. Unites States. ASCE
- [13] Applied Technology Council (ATC 40). (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings-Vol.1. ATC 40
- [14] ATC 40, “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, by Applied Technology Council – California. 1996.
- [15] Benjabrou, M., Zeggwagh, G., Gueraoui, K., Sammouda, M., & Driouich, M. (2017). Evaluation of seismic vulnerability of existing reinforced concrete structure by non-iterative spectral method using pushover analysis with interpretation of fragility curves by RISK UE. *Praise Worthy Prize*, 8(4). 177-186
- [16] Elnashai, A. & Di Sarno, L. (2008). *Fundamentals of earthquake engineering*. United Kingdom. Jhon Wiley & Sons, Ltd.
- [17] Lin, K.C., Hung, H.H., & Sung, Y.C (2016). Seismic performance of high strength reinforced concrete building evaluated by nonlinear Pushover and dynamic analyses. *International Journal of structural stability and dynamics*, 16(3). 1450107(27 pages). Doi: 10.1142/S0219455414501077

- [18] Maldonado, Jasbón & Chio (2010). Funciones de vulnerabilidad calculadas para edificaciones en muros de hormigón reforzado. *Revista Ingeniería de Construcción*, Volumen (25), 63-82, doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732010000100003>
- [19] Mora, D. y Aguiar R. (2015), “Modelación de Diagrama Momento-Curvatura y MomentoRotación en secciones de acero estructural”, *Revista Ciencia*, 17 (1), 99-124. Universidad de Fuerzas Armadas, ESPE, Quito, Ecuador.
- [20] Pujari, P.D., & Madhekar, S.N. (2015) Performance based seismic desing of reinforced concrete symmetrical building. *Advances in Structural Engineering* (2). 945-954. doi: 10.1007/978-81-322-2193-7_74