

COMPORTAMIENTO NO-LINEAL DE ESTRUCTURAS DE ACERO

Agustín Núñez Diego (1), Jorge Ruíz García (2)

(1) Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: agustin_nunez93@yahoo.com.mx

(2) Postgrado en el Área de Estructuras, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo | Dirección de correo electrónico: jruiizgar@stanfordalumni.org

Resumen

Es común que durante un evento sísmico intenso los componentes estructurales sufran daños tras experimentar un comportamiento inelástico, resultado principalmente de los desplazamientos laterales inducidos por el movimiento del suelo. El presente estudio surgió a partir de la incertidumbre en el comportamiento de edificios modelados tridimensionalmente como parte de la evaluación sísmica de estructuras, siendo el objetivo primario mejorar la comprensión del comportamiento no-lineal de estructuras de acero en modelos 3D de edificaciones y su comparación con la respuesta 2D. La elaboración del presente trabajo contempla realizar el modelado a ejes de edificios (3, 9 y 20 niveles) con el programa para análisis dinámico no lineal RUAUMOKO (Carr 2009) en sus versiones 2D y 3D además de un análisis Estático Lineal incremental (Pushover). Los resultados obtenidos en la siguiente investigación indican que la respuesta no-lineal de edificaciones modeladas en 2D y 3D es distinta aún cuando se trate del mismo edificio, así mismo la reserva de resistencia lateral brindada por los marcos interiores brinda un factor de seguridad cuando estas fueron diseñadas conforme un modelo bidimensional. .

Abstract

During an intense seismic event it is common that the structural elements get damaged after experiment an inelastic behaviour, result mainly of lateral displacements induced by the ground motion. This paper emerged because the uncertainty in three-dimensional building nonlinear behaviour models as a part of the seismic analysis of structures, being the main objective have a better understanding of the effect of inelastic behavior in a 3D model and their comparison against the 2D model. For this purpose we have modeled three different models of buildings of 3, 9 and 20 floors using the nonlinear analysis program RUAUMOKO (Carr, 2009), in addition a "pushover" analysis was done. The obtained results indicate that the nonlinear response of buildings is different for a 2D analysis and a 3D analysis even when we are talking of the same building, also the lateral strength reserve cause of the gravity frames gives us an additional security factor when this structures were designed based in 2D models.

Palabras Clave

1; Sismo 2; "Pushover" 3; Modelo 4; Acero

INTRODUCCIÓN

Motivación

Un gran Número de edificios modernos de alturas medianas tiene marcos resistentes a momento (MRM) como sistema principal a los desplazamientos laterales. Este tipo de construcción era considerada la más segura para resistir sismos, ya que se espera los elementos de acero sean capaces de resistir grandes deformaciones plásticas en flexión y cortante. Esta creencia fue abatida después de los temblores de Northridge en 1994 cuando más de 150 estructuras con este mecanismo sufrieron daños [1], principalmente en las conexiones viga-columna que sufrieron fallas frágiles (es decir no hubo deformación plástica considerable).

El objetivo de este trabajo es mejorar el conocimiento del comportamiento de edificios de acero estructurados en base a marcos resistentes a momento, considerando regiones de diferente sismicidad (Los Ángeles y Seattle), este trabajo toma en cuenta un modelo de fractura en las conexiones que podría ayudar a entender mejor el comportamiento registrado en Northridge (1994) y Kobe (1995).

Comportamiento No-lineal

No linealidad

Los daños en elementos estructurales son resultado principalmente de los desplazamientos laterales inducidos por las masas de suelo durante un evento sísmico [2]. Cuando estos desplazamientos no son pequeños estamos hablando de NO LINEALIDAD GEOMÉTRICA en la estructura, cuando este comportamiento se debe a que el material tiene no un comportamiento elástico hablamos de una NO LINEALIDAD FÍSICA.

Para el Caso de este trabajo las deformaciones y desplazamiento no son pequeños y el material analizado es acero que al ser cargado axialmente sigue un comportamiento lineal al inicio y posteriormente tiene un comportamiento plástico como se indica en la imagen 1.

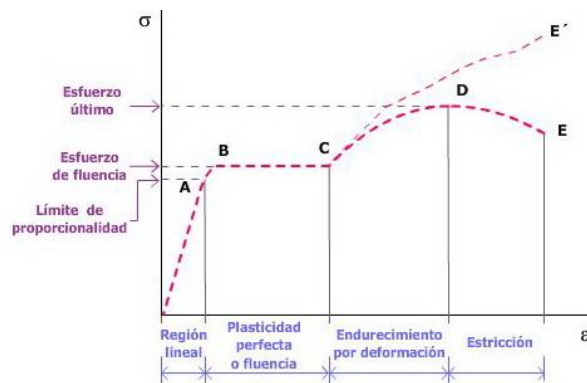


IMAGEN 1: Grafica Esfuerzo Deformación del Acero

Análisis del empujón o “pushover”

Para el desarrollo de planes de protección civil, ante terremotos, resulta necesario evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico. Para esto existen diversas metodologías que tienen su base en el cálculo estático no lineal incremental, comúnmente conocido como “pushover”, y en el cálculo dinámico no lineal [3].

El análisis Estático no lineal incremental es una técnica que ha venido ganando aceptación a nivel mundial para conocer el comportamiento no lineal de edificios ya que incluye de forma directa las características de los materiales y al combinarse con metodologías en base a desempeño forman una excelente metodología para conocer el comportamiento no lineal de edificios sometidos a excitaciones sísmicas de diferentes intensidades [4].

De manera sencilla el análisis del empujón consiste en un patrón de carga lateral que aumenta hasta llevar al edificio al comportamiento plástico, este nos permite identificar que elementos sufrirán plastificación primero y en lo sucesivo nos permitirá trazar su curva de capacidad (Vb-Desplazamiento de azotea).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis se planteo modelar 3 edificios distintos (3, 9 y 20 niveles), cada uno de estos simétricos en planta. El modelo básico al que en lo sucesivo llevará el nombre *MP* corresponde a los edificios modelados únicamente con los marcos perimetrales. El segundo modelo incluye el modelado de los marcos de gravedad internos que se espera aumenten la rigidez del sistema, estos en lo sucesivo llevaran la terminación *MG*.

Para la realización de los modelos antes mencionados se utilizó el software para análisis no lineal RUAUMOKO (Carr 2009) en sus versiones 2D y 3D, este es un programa diseñado para reproducir la respuesta no lineal de estructuras bidimensionales y tridimensionales, desplazamientos de suelo (a causa de sismo) y fuerzas de excitación variables.

Las plantas de los edificios estudiados se presentan en las imágenes.

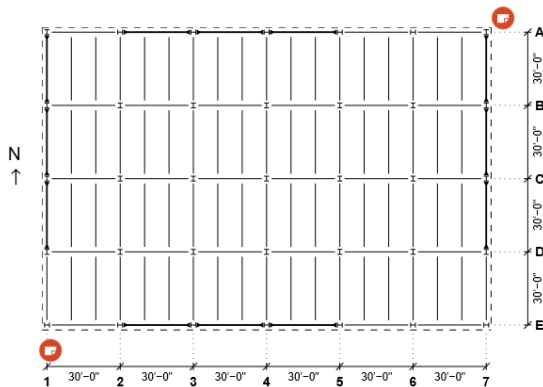


Figure B-3. L.A. 3-story typical floor plan.

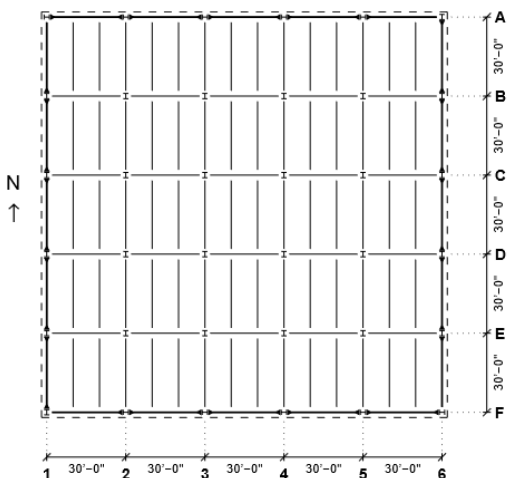


Figure B-6. L.A. 9-story typical floor plan.

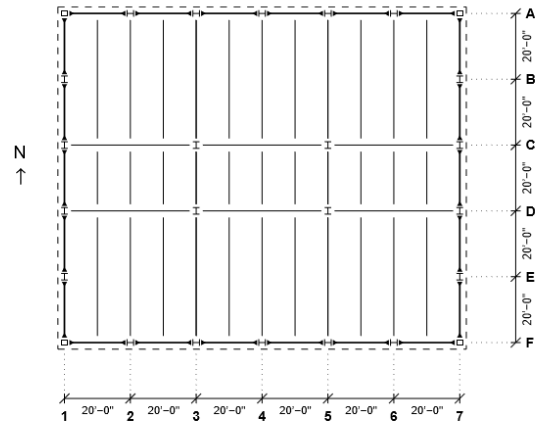


Figure B-9. L.A. 20-story typical floor plan.

IMAGEN 2: Planta edificios de 3, 9 y 20 niveles

Los modelos toman en cuenta:

- Las secciones de los elementos estructurales y sus propiedades.
- Cálculo de diagramas de interacción de las columnas de acero.
- Degradación en la resistencia de las vigas para simular la fractura de acuerdo con Filiatrault (2001)
- No degradación de resistencia en columnas.
- Comportamiento histerético bilinear con endurecimiento por deformación de 0,001%
- Columnas de Gravedad
- Análisis de desplazamientos grandes (incluye efectos p-Delta)
- Comportamiento de diafragma rígido
- Articulación plástica $D=0.9d$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los primeros resultados al ejecutar los modelos son los periodos naturales de vibración, partiendo de estos se calibraron los modelos para asegurar su veracidad.

Tabla 1: Periodos naturales de vibración

Modelo	Periodos Naturales de Vibración		
	T ₁ (s)	T ₂	T ₃
2. 20_3D_MG	2.969	2.525	1.025
3. 20_2D	3.617	1.288	0.779
5. 9_3D-MG	2.026	1.939	0.774
6. 9_2D	2.129	0.803	0.468
8. 3_3D-MG	0.809	0.8	0.221
9. 3_2D	1.024	0.337	0.18

Estos valores se compararon con los valores obtenidos por Gupta [1] tomando en cuenta que este se basó en modelos dúctiles, pero dado que los periodos de vibración son una propiedad elástica estos debían ser similares.

Los resultados más significativos se pueden observar en las siguientes gráficas, que corresponden a las curvas de capacidad.

**En el eje de las abscisas se presenta el desplazamiento normalizado de azotea en las ordenadas el valor de cortante basal obtenido del análisis Estático no lineal incremental.

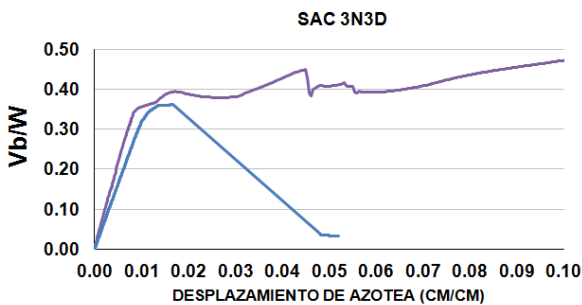


IMAGEN 3: Curvas de capacidad edificio de 3 niveles, en azul modelo 2D, en morado modelo 3D con la contribución de todos los elementos estructurales.

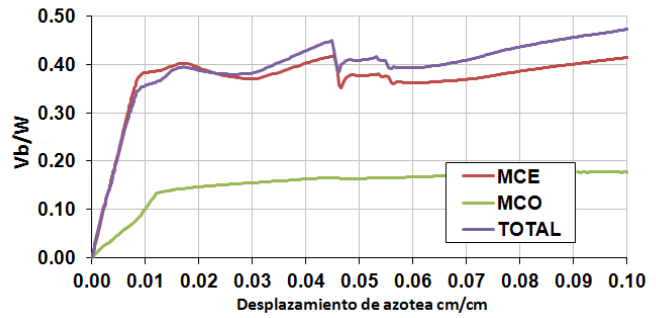


IMAGEN 4: Curvas de capacidad edificio de 3 niveles, se observa la contribución a la resistencia de cada conjunto de elementos MCE: columnas exteriores, MCO: Columnas ortogonales, en morado se encuentra el total.

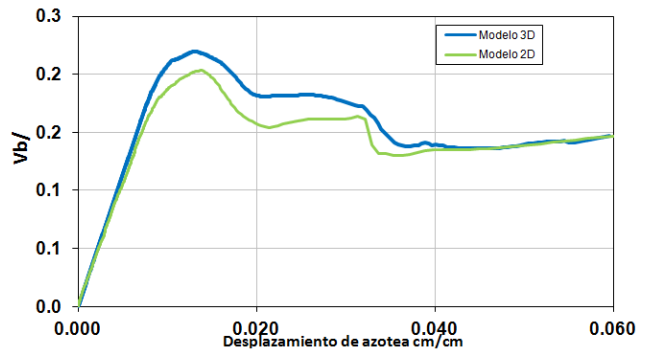


IMAGEN 5: Curvas de capacidad edificio de 9 niveles en sus modelos 2D (Verde) y 3D (azul).

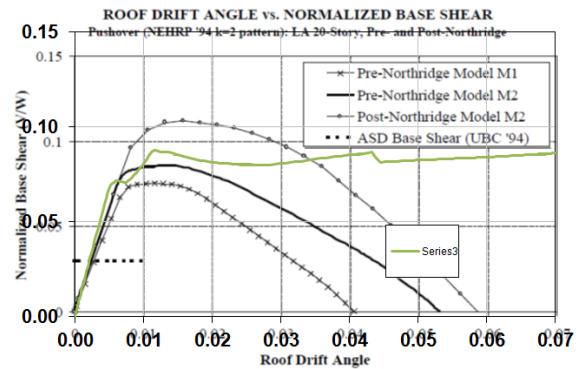


IMAGEN 6: Comparación de curva de capacidad modelo de 20 niveles obtenida con la referencia [1] (Gupta).

Los resultados son muy claros, en todas las curvas de capacidad se puede apreciar una sobre resistencia de entre 5-10% (para 9 niveles y 3 niveles) así mismo de la imagen 4 se puede observar como el mayor porcentaje de la resistencia total es brindado por los marcos exteriores y solo una pequeña parte por los marcos ortogonales, sería útil generar esta grafica para los o tanto de 9 niveles y 20 niveles en lo sucesivo.

El modelo de 20 niveles presento ciertas deficiencias, resulta comprensible entender que con el aumento de tamaño y de secciones o elementos la calibración del modelo es mucho mas tardada, para esta publicación se logro calibrar el modelo con respecto de la referencia [1] (Gupta) y se puede observar la diferencia entre el modelo dúctil que presenta el autor con el de fractura del presente trabajo. Queda pendiente para futuros trabajos comparar los modelos 3D/2D como se planteo en el objetivo inicial.

CONCLUSIONES

De la presente investigación se han logrado generar las siguientes conclusiones: La respuesta sísmica de edificaciones modeladas en 2D y 3D es distinta aún cuando se trate del mismo edificio, especialmente cuando estas entran bajo comportamiento no lineal, así mismo la reserva de resistencia lateral brindada por los marcos interiores brinda un factor de seguridad cuando estas fueron diseñadas conforme un modelo bidimensional.

Esta investigación permitió comprender de mejor forma el comportamiento tridimensional de estructuras bajo secuencias sísmicas y abre la posibilidad de seguir desarrollando conocimiento en este campo con modelos más complejos y una gama más alta de edificaciones a estudiar.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente al Dr. Jorge Ruíz García por permitirme trabajar con él durante el “Verano Delfín 2015” así mismo a la UMSNH por abrirme sus puertas y a la Universidad de Guanajuato, institución a la cual estaré siempre agradecido como alumno.

REFERENCIAS

Libro:

Vinnakota, Sriramulu (2006). Estructuras de Acero: Comportamiento y LRFD (1ra ed.), México, Mac-GrawHill Latinoamérica

Carr J, Athol (2008), RUAUMOKO User manual for the two-dimensional version, New Zeland, University of canterbury.

Carr J, Athol (2008), RUAUMOKO User manual for the three-dimensional version, New Zeland, University of canterbury.

Artículo:

Gupta, Akshay., Krawinkler, Helmut (1999). Seismic Demands For Performance Evaluation Of Steel Moment Resisting Frame Structures. The John A. Blume Earthquake Engineering Center Report No. 132, (1-6, 26-33, 132-133, 269)

Peralta Alvarez, Máximo (2012). Análisis Estático No Lineal Y Análisis Dinámico No Lineal Del Hospital De Vielha, Tesina de Master Universidad Politécnica de Catalunya. (1-8)

Ruíz- García, Jorge (2013). Three-dimensional building response under seismic sequences. The 2013 World congress on Advances in Structural Engineering and mechanics (ASEM13). ()

Luco, Nicolas (2002). Probabilistic Seismic Demand Analysis, Smrf Connection Fractures, And Near-Source Effects. A Dissertation Submitted To The Department Of Civil And Environmental Engineering And The Committee On Graduate Studies Of Stanford University In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Doctor Of Philosophy. (235-246)