

Diseño por estabilidad para estructuras de acero y su implicación en el diseño sísmico

Stability Design of Steel Structures and its implications on Seismic Design

Gerardo Chacón Rojas
Profesor Universidad Latina de Costa Rica
gerardo.chacon@ulatina.cr
Alexander Vega Vásquez
Grupo Industrial GRUINSA S. Cartago
avegav@gruinsacr.com

Recibido 22/abr/2019
Aprobado 20/may/2019

Resumen-

En el 2010 las especificaciones para el diseño estructural de acero del AISC 360, incluye como procedimiento principal el método directo para el diseño por estabilidad. Pese a que el método ha demostrado gran aplicabilidad en estructuras de acero, existe aún discusión sobre su aplicación en el diseño sísmico y cómo este deber ser considerado en los códigos de diseño. El objetivo es estudiar los criterios de diseño por estabilidad actuando en conjunto con el sismo, de acuerdo con AISC 341 Provisiones Sísmicas, y el Código Sísmico de Costa Rica, para evaluar su validez con la metodología del método directo del AISC360. Se estudia la aplicación del Método Directo en varios tipos de estructuras de acero, considerando todos los criterios de detallado sísmico que solicitan los códigos, finalmente se verifica la aplicabilidad de los criterios. Los resultados indican que es posible continuar con la aplicación de los criterios según se han venido utilizando en los códigos, debido a la rigidez de las estructuras como resultado de la aplicación de los criterios de los códigos sísmicos. Esto hace que el efecto

de estabilidad sea bajo. Los modelos utilizados sugieren que la estabilidad en estructuras de acero con los criterios sísmicos, se logra controlando las deformaciones inelásticas y el control de mecanismos inelásticos que no generen un colapso general de la estructura. De esta manera es posible aplicar el método directo y aprovechar de sus beneficios en cuanto a automatización y aplicabilidad..

Palabras Claves: *estructura de acero, diseño sismoresistente, método directo, diseño por estabilidad.*

Abstract Context:

In 2010, the AISC 360 specification includes the Direct Method as the principal method for stability design. Despite the method has demonstrated that is applicable to must cases, there is still discussion of its application with seismic forces, and how it must be properly addressed in the codes. The principal objective is to study stability design, acting in conjunction with seismic forces, and validating the criteria of the application of the Direct Method from AISC 360 with the AISC 341

seismic provisions, and CSCR. It was studied several types of buildings, considering all detailing criteria according to codes. Finally, the applicability of the criteria for Direct Method was reviewed. Results indicate that actual criteria are still applicable to Direct Method, because the stiffness of the buildings that is obtained as a result of the codes criteria, made de impact of the Direct Method increments in moments and axial loads, very small. Models indicate that stability design in steel structures in seismic cases, can be achieved having control in drift and inelastic deformations, as controlling that plastic mechanism are formed not affecting general structure integrity. This way it is possible to apply Direct Method, and take advantage of it systematization and long range of applicability.

Keywords: *Steel Design, Seismic Design, Direct Method, Stability Design.*

I. INTRODUCCIÓN

El conocimiento sobre la estabilidad ha evolucionado y ha sido expandido conceptualmente a lo largo del tiempo. El estudio y problemática actual se basan en el comportamiento local y global de los sistemas estructurales, lo cual engrandece la fórmula sobre el comportamiento de las columnas publicada por Leonhard Euler en 1744. A partir de dicho hito se han desarrollado los estudios pertinentes a la estabilidad, como por ejemplo los estudios del Column Research Council en 1924 y los aportes más recientes de American Institute of Steel Construction que dan como resultado los aportes a la especificación al AISC360 (Carter,2013).

Actualmente el desarrollo de proyectos de toda índole y el avance tecnológico hacen que exista una mayor demanda en producir estructuras cada vez más livianas pero cada vez más resistentes. Se busca aumentar la resistencia y la esbeltez, lo cual genera problemas de inestabilidad, recalando así la

importancia del diseño por estabilidad. (White, 2007)

El objetivo que se plantea es estudiar los criterios de diseño por estabilidad actuando en conjunto con el sismo, de acuerdo con AISC341 y el CSCR, para evaluar su validez con la metodología del método directo del AISC360-10.

II. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo aplicada, se realiza una recopilación bibliográfica sobre los distintos criterios para aplicar el Método Directo en conjunto con el Diseño Sísmico. Se modelaron 3 sistemas estructurales y se diseñan acatando la normativa costarricense de diseño sismoresistente (CSCR2010). Estos tres edificios tienen distintos sistemas estructurales para soportar la carga sísmica, el primero es un marco ordinario arriostrado concéntricamente, OCBF por sus siglas en inglés; el segundo es un marco arriostrado excéntricamente, EBF por sus siglas en inglés, y finalmente un edificio donde el sistema resistente es un marco de momento especial o SMF, por sus siglas en inglés. Los tres sistemas estructurales presentan diferencias en cuanto a su rigidez y ductilidad lo cual es conveniente para valorar el impacto de los efectos de segundo orden de acuerdo con cada caso.

Inicialmente se realiza un diseño sismoresistente siguiendo todos los criterios establecidos por el Código Sísmico de Costa Rica, en especial en lo referente a los límites de derivas que se indica en la tabla 7.2, además de la aplicación el AISC360-10 y 341-10, del CSCR2010. Luego se realiza un análisis de segundo orden para determinar su impacto sobre incremento de derivas y cargas. El diseño por sismo se realiza por medio del método estático del CSCR2010, de forma que se pueda combinar con el análisis de efectos de segundo orden que requiere de un análisis no lineal. (Nair, 2011)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se modelaron 3 edificaciones en donde se analizaron 3 sistemas estructurales distintos, todos presentaron diferencias en su ductilidad y rigidez.

Las tablas de la 1 a la 6 muestran los resultados por nivel de derivas de primer orden como de segundo orden y la relación entre ambas $\Delta_{2nd}/ \Delta_{1st}$ o B_2 . Además, se muestra el incremento en la carga para los elementos más críticos por efectos de segundo orden.

a. Caso 1: Edificio a base de marcos ordinarios arriostrados concéntricamente (OCBF)

Características: Área de construcción: 1250 m²/ Niveles: 5/ Uso: Habitacional/Marcos

Ordinarios /Arriostrados Concéntricamente (OCBF)/ Edificio Irregular Moderado/Ductilidad Local Moderada/ Ductilidad Global asignada: 1.5/ Zona Sísmica: 3, Suelo tipo S3/ Cargas: Permanente: 4.3 kN/m² Temporal: 2.0 kN/m² / Coeficiente Sísmico: 0.319 /Limite de deriva (Δ/H): 0.018

Tabla 1. Deriva máxima de primer y Segundo orden y relación $\Delta_{2nd}/ \Delta_{1st}$ caso OCBF

Nivel	Δ_{1st} (mm)	Δ_{2nd} (mm)	$\Delta_{2nd}/ \Delta_{1st}$
5	31.52	31.83	1.01

Tabla 2. Incremento sobre cargas por efectos de segundo orden para elementos estructurales críticos (OCBF)

Elemento	P_{1st} (mm)	P_{2nd} (mm)	P_{2nd}/ P_{1st}	M_{1st} (mm)	M_{2nd} (mm)	M_{2nd}/ M_{1st}
Riostra	-436.95	-440.80	1.01	-	-	-
Viga	-27.03	-27.09	1.00	-283.82	-284.49	1.00
Columna	-1763.82	-1774.50	1.01	-156.60	-157.17	1.00

b. Caso 2: Edificio a base de marcos arriostrados excéntricamente (EBF)

Características: Área de construcción: 1300 m²/ Niveles: 4/ Uso: Habitacional/ Marco Arriostrado/ Excéntrico (EBF)/ Edificio Irregular Moderado/ Ductilidad Local Óptima/ Ductilidad Global asignada: 3/ Zona Sísmica: 3, Suelo tipo S3/ Cargas: Permanente: 4.3 kN/m² / Temporal: 2.0 kN/m²/ Coeficiente Sísmico: 0.201 / Limite de deriva (Δ/H): 0.018

Tabla 3. Deriva máxima de primer y Segundo orden y relación $\Delta_{2nd}/ \Delta_{1st}$ caso EBF

Nivel	Δ_{1st} (mm)	Δ_{2nd} (mm)	$\Delta_{2nd}/ \Delta_{1st}$
4	11.21	11.70	1.04

Tabla 4. Incremento sobre cargas por efectos de segundo orden para elementos estructurales críticos (EBF)

Elemento	P _{1st} (mm)	P _{2nd} (mm)	P _{2nd} / P _{1st}	M _{1st} (mm)	M _{2nd} (mm)	M _{2nd} / M _{1st}
Riostra	-317.74	-319.66	1.01	29.67	30.33	1.02
Viga	-13.22	-13.99	1.06	-80.37	-80.59	1.00
Columna	-517.6	-517.92	1.00	-29.39	-29.96	1.02

c. Caso 3: Edificio a base de marcos especiales resistentes a momento (SMF)

Características: Área de construcción: 1300 m²
 Niveles: 4 / Uso: Habitacional / Marco Especial Resistente a Momento (SMF) SMF/ Edificio Regular / Ductilidad Local Óptima / Ductilidad Global asignada: 6 (3 31 Zona Sísmica: 3, Suelo tipo S3 / Cargas: Permanente: 4.3 kN/m² Temporal: 2.0 kN/m² / Coeficiente Sísmico: 0.112 / Limite

de deriva (Δ / H): 0.020

Tabla 5. Deriva máxima de primer y Segundo orden y relación Δ 2nd / Δ 1st caso SMF

Nivel	Δ _{1st} (mm)	Δ _{2nd} (mm)	Δ _{2nd} / Δ _{1st}
4	38.71	39.85	1.03

Tabla 6. Incremento sobre cargas por efectos de segundo orden para elementos estructurales críticos (SMF)

Elemento	P _{1st} (mm)	P _{2nd} (mm)	P _{2nd} / P _{1st}	M _{1st} (mm)	M _{2nd} (mm)	M _{2nd} / M _{1st}
Viga	-6.19	-6.19	1.00	-133.14	-137.49	1.03
Columna	-518.92	-523.07	1.01	-158.47	-163.90	1.03

Como se observa de las tablas 1 y 3, para edificios arriostrados los valores de incremento B2 de deriva por efectos segundo orden son de 1% siendo el valor máximo de 4% para la deriva de techo en la estructura EBF, lo anterior es considerablemente menor a los valores límites que establece el AISC 360 que es de 1.7. Las tablas 4 y 6 muestran el incremento de las cargas sobre los elementos más críticos, los cuales también rondan el 1% con un valor máximo de 6%.

La tabla 5 muestra los valores de B2 para el sistema SMF, el cual en promedio es 3%, tres veces mayor al de los marcos arriostrados, sin

embargo, igualmente inferior a los valores límite de AISC 360. El incremento en las cargas se muestra en la tabla 6 es de 3%, para los momentos y de 1% o menos para las cargas axiales.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de los modelos sugieren que la estabilidad en estructuras de acero con los criterios sísmicos, se logra controlando las deformaciones inelásticas y el control de mecanismos inelásticos que no generen un colapso general de la estructura.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los modelos, el efecto de la rigidez es claro en el incremento de los efectos de segundo orden, sin embargo, la ductilidad parece tener poco efecto sobre dicho parámetro. Además, es posible aplicar el método directo, siempre y cuando se cumplan con los límites de deriva establecidos en el Código Sísmico de Costa Rica capítulo 7 y aprovechar de sus beneficios en cuanto a automatización y aplicabilidad. Es recomendable en futuras investigaciones estudiar el efecto de estabilidad en edificios tipo nave industrial, así como también en edificios de 10 a 12 pisos para estudiar la sensibilidad de los resultados obtenidos con las variaciones en la altura.

REFERENCIAS

- Carter, Ch. (agosto, 2013). The Evolution of Stability Provisions in the AISC Specification. Trabajo presentado en el Steel Day Eve 2013 American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- Griffis L y White D. (2013). Steel Design Guide 28: Stability Design of Steel Buildings. Chicago: American Institute of Steel Construction.
- American Institute of Steel Construction. (2010). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. Chicago: ANSI/AISC 341-10
- American Institute of Steel Construction. (2010). Specification for Structural Steel Buildings. Chicago: ANSI/AISC 360-10.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2011). Código Sísmico de Costa Rica 2010. Cartago: Editorial Tecnológica.
- Nair, S. Malley, J. and Hooper, J. (2011). Design of Steel Buildings for Earthquake and Stability by Application of ASCE 7 and AISC 360. AISC. Engineering Journal. Third Quarter 2011, 199-204.
- White, D. Surovek, A. and Chang, C. (2007). Direct Analysis and Design Using Amplified First-Order Analysis Part 2: Moment Frames and General Framing Systems. AISC. Engineering Journal. Fourth Quarter 2007, 323-340.