



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Fuentes-Sánchez, Samira; González-Díaz, Liliana;
Calderín-Mestre, Francisco; Sánchez-Zamora, Yailén
CONSIDERACIONES ACERCA DEL DISEÑO
SISMORRESISTENTE DE EDIFICIOS DE ACERO EN CUBA
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, 2018, Octubre-Diciembre 2019, pp. 11-26
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358509002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

CONSIDERACIONES ACERCA DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE EDIFICIOS DE ACERO EN CUBA

CONSIDERATIONS ABOUT THE DESIGN RESISTANT EARTHQUAKE OF STEEL BUILDINGS IN CUBA

Autores:

Samira Fuentes-Sánchez, samira@emproy15.co.cu. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería # 15. Santiago de Cuba. Cuba.

Liliana González-Díaz, liliana@uo.edu.cu¹

Francisco Calderín-Mestre, calderin@uo.edu.cu¹

Yailén Sánchez-Zamora, cpc@megacen.ciges.inf.cu¹

¹Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba.

RESUMEN

Diseñar sistemas estructurales sismorresistentes de acero, que se comporten satisfactoriamente, es un campo en el cual Cuba no tiene mucha experiencia y la normativa existente se enfoca principalmente en el diseño de estructuras de hormigón armado, lo que hace que los proyectistas se apoyen en normas foráneas para la confección de sus proyectos, sin poder verificar que el detallado realizado sea suficiente para un buen comportamiento de las estructuras antes la ocurrencia de un sismo moderado o severo. Se elaboró un procedimiento donde se establecen recomendaciones acerca de la concepción de los tres sistemas estructurales que han probado ser eficientes para disipar la energía sísmica: pórticos especiales a momento, arriostrados concéntricamente y arriostrados excéntricamente. Las recomendaciones se basan en los criterios de diseño sismorresistente asociados a las principales normas y códigos vigentes en los países con mayor desarrollo en ese campo, que garantizan un adecuado comportamiento de las edificaciones ante sismos moderados y severos.

Palabras clave: *acero, sistemas estructurales, sismorresistentes.*

ABSTRACT

To design systems structural steel resistant that behave satisfactorily in front of earthquakes, is a field in which Cuba doesn't have a lot of experience and the normative one existent it is focused mainly in the design of structures of armed concrete, that makes the planners to lean on in strange norms for the making of their projects, without being able to verify that the detailed one carried out it is enough for a good behavior of the structures before the occurrence of a moderate or severe earthquake. A procedure was elaborated where recommendations settle down about the conception of the three structural systems that they have proven to be efficient to dissipate the seismic energy, (special piazzas to moment, braced concentrically and braced eccentrically), based on the approaches of design resistant earthquakes associated to the main norms and effective codes in the countries with more development in that field that they guarantee an appropriate behavior of the constructions before moderate and severe earthquakes.

Key words: *steel, systems structural, resistant earthquake.*

INTRODUCCIÓN

La humanidad experimenta a lo largo de su historia el efecto destructivo de los terremotos, que ocasionan pérdidas de vidas humanas, así como cuantiosas pérdidas económicas. Son eventos con baja probabilidad de ocurrencia y sus consecuencias pueden ser graves en términos de destrucción y sufrimiento.

En el diseño de estructuras sismorresistentes se utilizan disímiles materiales como: la mampostería, el hormigón armado y además el acero estructural, que ha resultado ser el material que más se acerca a un comportamiento linealmente elástico. Sin embargo, esta propiedad inherente al material no se traslada automáticamente al sistema estructural. El mayor desafío en el diseño de estructuras sismorresistentes de acero consiste en limitar o controlar los problemas de inestabilidad en miembros o zonas sometidas a compresión. En estas estructuras el control de los fenómenos de inestabilidad resulta más importante que en las estructuras comunes, dado que su ocurrencia degrada la respuesta en términos de resistencia y rigidez, disminuyendo su capacidad de disipar energía (Crisafulli, 2018).

El desempeño sísmico insatisfactorio de algunas estructuras diseñadas conforme a reglamentos modernos ha preocupado al medio de la ingeniería estructural. Situación que ha cobrado importancia a partir de las grandes pérdidas materiales y económicas a consecuencia de eventos sísmicos (México, 1985; Loma Prieta, 1989; Northridge, 1994; Kobe, 1995; Chile, 2010, entre otros).

En estos terremotos no hubo colapso de edificios de acero, pero sí severos daños internos en varios tipos de estas estructuras, con predominio en los pórticos resistentes a momentos. Se evidenció un comportamiento inadecuado de las conexiones en los nudos viga-columna, con la ocurrencia de fallas por fractura de soldaduras y placas. Otros daños se manifestaron en la fractura de riostras y de uniones soldadas, así como fallas frágiles por fractura e inestabilidad en pórticos arriostrados concéntricamente, que originan un comportamiento no dúctil de la estructura.

El diseño sismorresistente a nivel internacional considera disposiciones especiales respecto al material, al diseño de los elementos, las uniones y los arriostramientos; que condicionan el proyecto y la construcción de edificaciones en una zona sísmica. Estas disposiciones son respaldadas por normas, con la aceptación tácita de que garantizan la seguridad para estructuras amparadas en su ámbito de aplicación.

La norma cubana NC 53-94:83 (Cuba. Comité Estatal de Normalización) adolece de los criterios de diseño sismorresistente para este tipo de estructuras. Por lo tanto, generar diseños de sistemas estructurales sismorresistentes de acero, con un adecuado comportamiento ante la acción de sismos moderados y severos, constituye un campo que no ha sido suficientemente explorado en Cuba.

Por consiguiente, el objetivo propuesto fue elaborar un procedimiento para el diseño de los sistemas sismorresistentes más comunes, utilizados en edificaciones de acero en zonas de alta peligrosidad sísmica de Cuba.

METODOLOGÍA

La investigación se organizó metodológicamente a partir de las siguientes etapas:

1. Definición de las principales características de las estructuras de acero, sus ventajas y desventajas.
2. Evaluación de las principales normativas para el diseño sismorresistente de estructuras de acero.
3. Caracterización de los métodos y procedimientos para el diseño de edificios sismorresistentes de acero.
4. Definición de las principales consideraciones para el diseño sismorresistente de edificaciones de acero.
5. Estructuración metodológica para el diseño sismorresistente de edificaciones de acero.

RESULTADOS

En la actualidad, el acero estructural es uno de los materiales de construcción de mayor importancia a nivel mundial. Algunas de las propiedades que lo caracterizan son: bajo peso, altas capacidades para resistir esfuerzos como tracción, compresión, cortante o momento flector y la posibilidad de construir estructuras con grandes luces, que proporcionan extensos espacios libres. Estas características, junto a su elevada versatilidad en procesos de fabricación en serie y de los numerosos controles en la producción al que es sometido, hacen que su uso esté cada vez más extendido (NEC-2015).

Propiedades del acero

Propiedades químicas y metalúrgicas: la metalurgia del acero estructural se define por el hierro y el contenido de carbono. También influyen los diversos elementos de aleación que se utilizan para lograr determinada resistencia, ductilidad y otras características (Cházaro y Álvarez, 2010).

Propiedades físicas: es dúctil (maleable) y tenaz (resistente al impacto), por lo tanto tiende a ser fácilmente maquinable con ayuda de máquinas herramientas, así como soldable. Es un buen conductor del calor y la electricidad (Cházaro y Álvarez, 2010).

Propiedades mecánicas del material: se determinan por medio de ensayos donde son encontrados valores que hacen referencia al límite de fluencia, resistencia a la tensión y resistencia última, tenacidad o dureza, (Cházaro y Álvarez, 2010).

La respuesta sísmica de un edificio está ligada fundamentalmente a las propiedades mecánicas del material. En el diseño y verificación de los elementos estructurales de acero, uno de los parámetros mecánicos más importantes es la tensión mínima de fluencia F_y ; adicionalmente, en algunos estados límites vinculados con la fractura se aplica la resistencia de tracción mínima F_u . Los aceros convencionales presentan resistencias menores y mayor ductilidad, mientras que los aceros de alta resistencia, en general, presentan una ductilidad

reducida. Esta es la razón por la cual las especificaciones limitan la tensión mínima de fluencia a 345 MPa en componentes donde se espera que se desarrolle comportamiento inelástico. Para el caso de estructuras con ductilidad limitada este límite se incrementa a 380 MPa. La relación entre F_u y F_y debe de estar entre 1.2 y 1.8, (Crisafulli, 2018).

Análisis de las principales normativas de diseño

Se analizaron las principales normativas para el diseño sismorresistente de edificaciones de acero provenientes de países desarrollados, tanto en economía como en tecnología, que han sido afectados por sismos y que han avanzado en los criterios de diseño a partir de las lecciones aprendidas. Entre las analizadas se encuentran el Eurocódigo, la norma de Nueva Zelanda NZS 3101:2006, el código norteamericano ANSI/AISC 360-16, la NSR: 10 de Colombia, las normas venezolanas COVENIN 1753.1:2006 y 1756-2001, la norma chilena NCh 433, así como la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-AC, 2014.

Se enfatiza en normas del contexto latinoamericano, que en su gran mayoría se sustentan en la norma norteamericana Instituto Americano de Construcciones en Acero (AISC). La norma ANSI/AISC 360-16 es la norma que establece las especificaciones para diseñar estructuras de acero, en el caso del diseño sismorresistente se incorporan además los requerimientos de la ANSI/AISC 341-16 Provisiones sísmicas para edificios de acero estructural y la ANSI/AISC 358-16, que analiza las conexiones precalificadas para su uso en pórticos especiales de momentos e intermedios, que son ensayadas por la FEMA y han demostrado que tienen un buen desempeño sísmico.

Métodos de análisis

Las especificaciones para construcciones de acero vigentes en Estados Unidos de América (AISC, 2016) consideran dos métodos generales de diseño: el método de las tensiones admisibles (ASD por las siglas de *Allowable Strength Design*), y el método de factores de carga y resistencia (LFRD por las siglas de *Load and Resistance Factor Design*).

En la actualidad se prefiere la aplicación del criterio de los estados límites (criterios inelásticos). Este permite tener una visión más general del problema cuando un sistema estructural, bajo cargas superiores a las previstas en el análisis, plastifica algunas de sus secciones en una redistribución interna de los esfuerzos, de modo que se recurra a su energía de reserva de deformación para continuar resistiendo y manteniendo la estructura en pie.

Principales sistemas estructurales para construcciones sismorresistentes de acero

Cada estructura deberá estar provista de un sistema completo de resistencia a cargas verticales y laterales, capaces de transmitir las fuerzas de inercia desde su punto de aplicación a los miembros resistentes y al suelo, de la manera más directa posible a través de los pisos y techos, actuando como diafragmas rígidos en su plano, y de los miembros dotados de la resistencia y rigidez adecuadas (Norma COVENIN MINDUR 1756-06, NEC-SE-AC-2015; Crisafulli, 2018). Los tipos estructurales más utilizados en el diseño de estructuras de acero y que han demostrado un adecuado comportamiento ante las acciones sísmicas son los pórticos especiales resistentes a momentos, pórticos con arriostramientos concéntricos y pórticos con arriostramientos excéntricos. Las estructuras deberán quedar clasificadas en alguno de estos tipos, aunque es preciso señalar que se pueden clasificar en tipos diferentes en cada una de sus dos direcciones ortogonales de análisis.

Pórticos resistentes a momento

En un pórtico resistente a momento (figura 1) la conexión entre vigas y columnas es hecha con conexiones rígidas. La resistencia a cargas laterales se da por flexión y cortante en vigas y columnas; es decir, por acción de pórtico. La principal fuente de ductilidad proviene de la formación de nudos plásticos en las vigas. En este tipo de sistema estructural se espera que los miembros, juntas y conexiones de los pórticos de acero sean capaces de soportar deformaciones inelásticas

significativas cuando sean sometidos a las fuerzas resultantes de los movimientos sísmicos de diseño que actúan conjuntamente con las acciones gravitacionales.

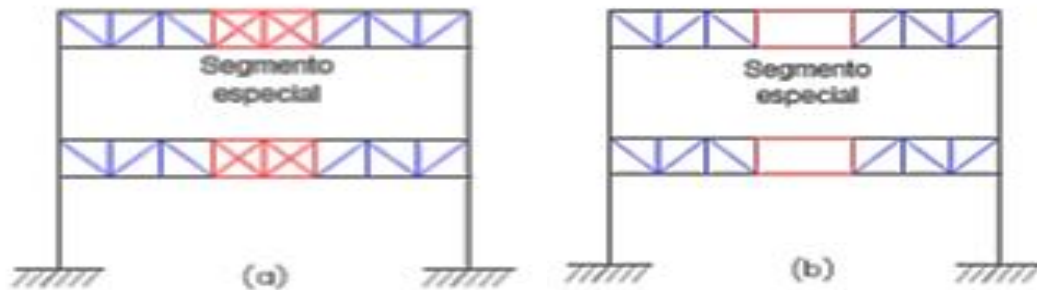


Figura 1. Pórtico no arriostrado con vigas reticuladas, a) segmento especial con reticulado en X, b) segmento especial con panel Vierendeel (Crisafulli, 2018)

Las especificaciones ANSI/AISC 341-16 definen tres tipos de pórticos no arriostrados: especiales, intermedios y ordinarios, de acuerdo con el grado de comportamiento dúctil que se considera en el diseño. La diferencia fundamental entre ellos es que se diseñan con distintos niveles de capacidad de rotación inelástica en las rótulas plásticas.

Pórticos con arriostramientos concéntricos

Los pórticos con arriostramientos concéntricos (figura 2) son sistemas en los que los elementos diagonales proveen la resistencia necesaria para soportar las cargas sísmicas. Este tipo de sistema genera una estructura más rígida que un pórtico con conexiones a momento. En los pórticos resistentes a momento la flexibilidad de las vigas domina la respuesta de desplazamiento, mientras que en un pórtico arriostrado se elimina el efecto de la flexión de las vigas y columnas, debido a que el corte lo absorben las diagonales con carga axial.



Figura 2. Pórticos concéntricos (CITDF-JAT, 2017).

Los sistemas de pórticos con arriostramientos concéntricos deben ser diseñados con la capacidad de resistencia a carga axial y el detallado de los miembros, para permitir la formación de articulaciones plásticas en los extremos de los arriostramientos cuando estos pandean fuera de su plano. Existen variantes al sistema que pueden ser implementados, ellos son: los pórticos ordinarios arriostrados concéntricamente, que son estructuras de ductilidad limitada; de modo que el diseño se realiza con resistencias requeridas, que son mayores que en el caso de los pórticos especiales arriostrados; de esta forma se asegura que las deformaciones inelásticas inducidas por un sismo severo en la estructura son reducidas. Los pórticos arriostrados concéntricamente se diseñan para desarrollar deformaciones inelásticas significativas, mediante la fluencia y pandeo de las riostras.

Pórticos con arriostramientos excéntricos

Los pórticos arriostrados excéntricos son sistemas con una particularidad: las líneas de eje entre arriostramientos, vigas y columnas no se intersectan. Este detalle hace que este tipo de pórtico se comporte de manera diferente a los pórticos con arriostramientos concéntricos. Según se muestra en la figura 3, la característica principal de un pórtico con arriostramientos excéntricos es la excentricidad que existe entre el eje del arriostramiento y el punto de intersección

del resto de los elementos del pórtico. La sección de viga que queda delimitada por la excentricidad de la riostra y los otros componentes es el elemento que provee la ductilidad al sistema, que le permite disipar la energía sísmica efectivamente.



Figura 3. Pórticos con arriostramientos excéntricos. (CITDF-JAT, 2017)

Los pórticos con arriostramientos excéntricos poseen las ventajas de los pórticos con conexiones de momento y la de los pórticos con arriostramientos concéntricos. Pueden absorber más energía sísmica que un pórtico arriostrado, a la vez que son más rígidos que los pórticos con conexiones de momento y por lo tanto menos desplazables lateralmente. Las estructuras deben diseñarse para disipar energía mediante deformaciones plásticas, las cuales permiten eventualmente la formación y la rotación de articulaciones plásticas.

Requerimientos generales para sistemas sismorresistentes

A los efectos de asegurar la respuesta dúctil y estable del sistema sismorresistente, las especificaciones sísmicas ANSI/AISC 341-16 definen ciertos requerimientos especiales de carácter general. Es por ello que se introducen los conceptos de zonas protegidas, soldaduras de demanda crítica y "área-k" junto a requerimientos para arriostramientos de vigas.

Las zonas protegidas constituyen porciones limitadas de ciertos miembros o componentes del sistema sismorresistente, que se diseñan especialmente para soportar deformaciones cíclicas inelásticas bajo la acción del sismo de diseño.

Ejemplos de ellas son:

- Las rótulas plásticas en vigas de pórticos no arriostrados.
- Los conectores (o links) en pórticos arriostrados excéntricamente.
- Las riostras y sus conexiones en pórticos arriostrados concéntricamente.

Estas zonas donde se desarrollan grandes deformaciones inelásticas son muy sensibles a la presencia de discontinuidades originadas por soldaduras, perforaciones y cambios bruscos de sección.

La soldadura es un medio de unión muy utilizado en todo tipo de conexiones por sus muchas ventajas. Sin embargo, es importante reconocer que presenta limitaciones y que el diseño y la construcción de conexiones soldadas requieren de especial cuidado, para evitar problemas como los observados luego del terremoto de Northridge en 1994. Las especificaciones ASIC 341-16 identifican específicamente los casos en que deben considerarse soldaduras de demanda crítica. Las soldaduras entre las alas de vigas y las columnas en pórticos no arriostrados especiales e intermedios y los empalmes soldados en columnas de pórticos arriostrados excéntricamente son ejemplos de dicho tipo de soldadura.

En diversos detalles de nudos viga-columna de pórticos es necesario utilizar rigidizadores, placas de continuidad o placas de refuerzo nodal; lo que implica soldar en las zonas de unión entre ala y alma de perfiles laminados. Esta zona es denominada "área k", región del alma de un perfil que se extiende desde el punto donde termina la transición entre ala y alma (definido por la dimensión "k") hasta 38 mm dentro del alma. En ANSI/AISC 341-16 se recomienda usar cortes en las esquinas de las placas y rigidizadores para evitar el contacto en las áreas-k.

Las especificaciones requieren, para las vigas pertenecientes a distintos sistemas estructurales, que se dispongan arriostramientos para restringir la inestabilidad lateral y torsional. El arriostramiento de vigas es un tema más complicado que el de columnas, por el hecho de que el pandeo de vigas implica la combinación de esfuerzos de flexión y torsión.

Estructuración metodológica para el diseño sismorresistente de edificaciones de acero

El procedimiento para el diseño de estructuras sismorresistentes de acero que se presenta se sustenta en las recomendaciones de la *Federal Emergency Management Agency* (FEMA). Se escogió porque sintetiza las principales etapas a seguir para este tipo de diseño, coincidentes con la mayoría de los referentes bibliográficos revisados.

Procedimiento para el diseño sismorresistente de estructuras de acero

1. Seleccionar el tipo de sistema estructural y configurar sus componentes.
2. Predimensionar los elementos pertenecientes a los pórticos.
3. Determinar los datos para el análisis estructural, tales como las cargas gravitacionales y acciones sísmicas.
4. Modelar y realizar el análisis matemático de la estructura.
5. Comprobar el adecuado comportamiento de los elementos seleccionados para el pórtico según las fuerzas, derivas y limitantes de estabilidad adecuadas, considerando los efectos de las conexiones en la rigidez de la estructura.
6. Revisar las dimensiones de los miembros según los requerimientos establecidos para cada uno de los tipos de sistemas estructurales, en caso de no cumplir se deberá redimensionar los elementos y regresar al paso anterior.
7. Completar el diseño de las conexiones (rigidizadores, arriostramientos laterales, entre otros elementos) que dependerán del tipo de sistema estructural elegido.

A continuación, se detalla el procedimiento sugerido para el diseño de cada tipo de pórtico, una vez conocidas las fuerzas internas producidas por los diferentes tipos de cargas y con ellas obtenido la geometría del pórtico, secciones y columnas. Se debe resaltar que posee un carácter general y no contempla las variaciones que pueden existir en el diseño de una estructura para un proyecto específico. De igual manera, el procedimiento no es necesariamente secuencial, sino que ilustra todos los pasos a considerarse en el diseño de estos tipos de estructuras.

Pórticos resistentes a momento (PRM)

1. Selección y diseño de la conexión.
2. Determinación y comprobación de la resistencia de la zona panel.
3. Revisión de las limitaciones en vigas y columnas.
4. Diseño de planchas de continuidad.
5. Chequeo de la condición columna fuerte–viga débil.
6. Cálculo de los arriostramientos laterales de viga.

Pórticos especiales con arriostramientos concéntricos (PEAC)

1. Chequeo de esbeltez en el arriostramiento.
2. Chequeo de resistencia de arriostramientos.
3. Revisión de las limitaciones en arriostres y columnas.
4. Selección y diseño de conexión de arriostramientos.
5. Según tipo de arriostramientos, revisión de los requisitos especiales.
6. Arriostrar lateralmente la viga.

Pórticos especiales con arriostramientos excéntricos (PAE)

1. Chequeo de las limitaciones en viga eslabón (link).
2. Determinación de la resistencia del eslabón.
3. Determinación de la rotación máxima del eslabón.
4. Diseño de rigidizadores del eslabón.
5. Diseño de arriostres laterales.
6. Diseño de diagonales.
7. Diseño de viga fuera del eslabón.
8. Diseño de columnas.

Análisis de los resultados

El estudio de las propiedades del acero es imprescindible para el diseño sismorresistente de estructuras con este material. Las propiedades mecánicas de los aceros, como su límite de fluencia, resistencia a la tracción y resistencia última, tenacidad o dureza, son las encargadas de garantizar la adecuada respuesta del

sistema estructural ante las acciones sísmicas. Sin embargo, las propiedades químicas y metalúrgicas son las que permiten lograr la resistencia y ductilidad del material y las físicas, como su maleabilidad y tenacidad (resistente al impacto), así como su soldabilidad, hacen que se puedan conformar más fácilmente los perfiles y los elementos de acero, que servirán como elementos estructurales en vigas, columnas, arriostres, entre otros.

Las investigaciones desarrolladas en los últimos 30 años han demostrado que para asegurar el comportamiento dúctil de las estructuras es necesario suministrar adecuada ductilidad, no solo a nivel del material, sino también a nivel seccional y de los miembros que componen el sistema (columnas, vigas, riostras, conexiones).

La revisión de las normativas permitió evidenciar que los manuales de construcción en acero del AISC han sido, tradicionalmente, las herramientas disponibles más completas para el diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero para edificios. Estas están en permanente actualización e incorporan resultados de investigación teóricos, experimentales y prácticos, que reflejan los avances tecnológicos en el campo de las estructuras metálicas, por lo que su contenido técnico permite aplicarlas de manera rápida. En los países de América Latina existe un atraso significativo en la emisión de reglamentos para la construcción en acero respecto a las emitidas por la AISC. Esto determina que, en muchos casos para obras importantes, los proyectistas tomen directamente como referencia las especificaciones norteamericanas, criterio que es compartido por esta investigación.

Con cada uno de los sistemas estructurales analizados o la combinación de estos en las estructuras se puede garantizar una adecuada respuesta ante la acción sísmica, la que se logra con un adecuado diseño de los pórticos. Los pórticos resistentes a momentos poseen elevada capacidad de disipación de energía, pero han sufrido daños por cedencia por flexión en las vigas, por corte en la zona del panel y por flexión y fuerza axial en columnas. Para lograr una buena ductilidad y disipación de energía es necesario que se presente el mecanismo de rótulas

plásticas en vigas; de ocurrir en columnas, podría generarse un entrepiso débil y con ello el colapso de la estructura.

Los pórticos arriostrados pueden diseñarse con diversas configuraciones de riostras, las cuales deben respetar no solo criterios estructurales, sino también requerimientos funcionales, económicos y estéticos. Los arriostramientos concéntricos generan menos desplazamientos laterales que los excéntricos. En general los pórticos con arriostramientos concéntricos reciben menos cargas en sus vigas y columnas que los pórticos con arriostramientos excéntricos. Los mecanismos que pueden presentarse en los pórticos con arriostramiento concéntrico son cedencia en los arriostramientos en tracción y pandeo en los arriostramientos en compresión, en el caso de los arriostrados excéntricamente cedencia por flexión y por corte en la viga-eslabón.

CONCLUSIONES

1. Las propiedades mecánicas de los aceros: límite de fluencia, resistencia a la tracción y resistencia última, tenacidad o dureza, son las encargadas de garantizar la adecuada respuesta del sistema estructural ante acciones sísmicas. Las propiedades químicas y metalúrgicas permiten lograr la resistencia y ductilidad del material y las físicas: maleabilidad, tenacidad y soldabilidad, facilitan la obtención de perfiles y elementos de acero.
2. La revisión de las normativas evidenció que los manuales de construcción en acero del AISC son las herramientas disponibles más completas para el diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero para edificios.
3. El método más utilizado en el diseño sismorresistente de estructuras de acero es el LRFD, pues provee estructuras menos costosas que el ASD, otorga a los materiales valores de resistencia cercanos a sus esfuerzos últimos; además, define el término confiabilidad como una razón o un porcentaje estimado de veces en que la resistencia de una estructura será igual o excederá a la carga máxima aplicada durante su vida útil.
4. Se elaboró un procedimiento donde se establecen recomendaciones acerca de la concepción de los tres sistemas estructurales que han probado ser eficientes para

disipar la energía sísmica: pórticos especiales a momento, arriostrados concéntricamente y arriostrados excéntricamente

5. Los pórticos de acero resistentes a momentos, así como los arriostrados concéntrica y excéntricamente, han mostrado un adecuado comportamiento ante sismos; cuando son bien diseñados pueden combinarse en las direcciones ortogonales de una estructura para el diseño sismorresistente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI/AISC 341-16. *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, IL.

ANSI/AISC 360-16. *Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, IL.

Colegio de ingenieros de la Tierra del Fuego (CITDF-JAT). (2017). *Diseño de estructuras sismorresistentes de acero*. Recuperado de www.citdf.org.ar

Crisafulli, F. (2018). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero* (5ta. ed.) Asociación latinoamericana del acero. Recuperado de <http://www.construccionenacero.com>.

Cházaro, C. y Álvarez, O. (2010). *Elección del tipo de acero para estructuras*. Instituto mexicano de la construcción de acero. Recuperado de <https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/products/services/.../eleccion-tipo-de-acero.pdf>

Cuba. Comité Estatal de Normalización. NC 53-94:83 *Elaboración de Proyectos de Construcción. Cálculo de Estructuras de Acero*. La Habana: autor.

Cuba. Comité Estatal de Normalización (2017). *Norma Cubana NC. 46-2017: Construcciones Sismo-resistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción*. La Habana: autor.

Federal Emergency Management Agency FEMA 350. *Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings*. Washington DC.

NEC-SE-AC 26-5 (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Estructuras de acero*.

Norma COVENIN MINDUR 1756-06 (2006). *Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites*. Venezuela.

Recibido: junio de 2018

Aprobado: septiembre de 2018