



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Segura-Barrientos, Sonia
REFERENTES SOBRE EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE
ESTRUCTURAS LIGERAS DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, 2018, Octubre-Diciembre 2019, pp. 55-67
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358509005>

- 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

REFERENTES SOBRE EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE ESTRUCTURAS LIGERAS DE ACERO CONFORMADO EN FRÍO

RELATING ON THE DESIGN RESISTANT EARTHQUAKE OF SLIGHT STRUCTURES OF STEEL CONFORMED IN COLD

Autores:

Sonia Segura-Barrientos, ssigura@emproy15.co.cu. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería. Teléfono 22643713. Santiago de Cuba, Cuba.

Mayra M. González-Fernández, mayra@uo.edu.cu. Universidad Oriente.

RESUMEN

En esta investigación se revisan, según contexto internacional y nacional, los referentes y tendencias actuales del análisis y diseño estructural de edificios ligeros de acero conformado en frío, localizados en áreas de peligro sísmico alto. Se revisan los códigos y normativas existentes sobre el análisis y diseño de estas estructuras y se exponen las consideraciones que deben asumirse cuando estas construcciones se localizan en las áreas de alta sismicidad. Como conclusión del trabajo se precisa que en el contexto cubano no se dispone de códigos o normativas que aborden estos aspectos para estructuras ligeras de acero conformado en frío, por lo que serán utilizados los de otros países.

Palabras clave: *diseño sismorresistente, estructuras ligeras, acero conformado en frío.*

ABSTRACT

In this investigation aspects and current tendencies of the analysis and structural design of slight metallic buildings of profiles are approached conformed in cold located in areas of high seismic danger, in the international and national context. Codes are revised and normative that approach the aspects of design of these structures, exposing the considerations that should be assumed when these constructions are located in areas of high seismicity. As conclusion of the work you arrives that for the Cuban context it doesn't have a normative one that guided the design of slight structures of steel conformed in cold, for what stops their design it will be used codes of other countries.

Key words: *design resistant earthquake, structure slight, steel conformed in cold*

INTRODUCCIÓN

El aumento del consumo de acero a lo largo del siglo XX es un reflejo de la evolución en la utilización de nuevas tecnologías y materiales en la construcción. Así como se dice que ese fue el siglo del acero, si se toma en cuenta su evolución hacia el acero liviano galvanizado y otras aleaciones, bien se puede decir que el siglo XXI es el siglo del "acero inteligente". En la construcción con acero hay dos ramas: la de elementos laminados en caliente y la de los conformados en frío a partir de chapas, flejes o bandas de acero en máquinas perfiladoras. Estos últimos se utilizan como elemento primario o secundario en estructuras para múltiples aplicaciones: obras viales, comerciales, industriales y residenciales. Ejemplo de su uso es el sistema industrializado *Steel frame* (SF), basado en perfiles ligeros de acero galvanizado conformado en frío.

Tras el paso del huracán Sandy en 2012 el deteriorado fondo habitacional de Santiago de Cuba presenta daños significativos con derrumbes parciales y totales. Esa situación generó la aprobación a nivel gubernamental de un Plan de construcción de viviendas en la provincia, de este plan deben ser ejecutadas 29 400 hasta 2025 (Plan General de Ordenamiento Urbano, Resumen ejecutivo. Santiago de Cuba, marzo 2013). Para la recuperación fueron donados a Cuba proyectos, sistemas constructivos y materiales, que permitieron construir edificaciones con hormigón armado y estructuras metálicas. Para dar respuesta a las necesidades constructivas del Plan de Viviendas se aplican diferentes tecnologías: Gran Panel 15, Forsa, Vhicoa, Petrocasas, Titán Steel, entre las más importantes. La aplicación de algunas es muy costosa y los recursos se han agotado sin cubrir las necesidades del plan.

La situación actual demuestra que el problema de la vivienda en Cuba no va a ser solucionado con las tecnologías tradicionales. Se requiere disponer de alternativas tecnológicas para la recuperación del sector residencial, además de satisfacer la creciente demanda del fondo habitacional, problemática no solo en Cuba sino en el mundo.

La construcción de edificaciones metálicas ligeras con perfiles conformados en frío fue introducida en 2013 en una zona de alta sismicidad en Cuba, con la aplicación

de la tecnología SF comercializada por el grupo *Blue Coast* como *Titán Steel*. A partir de un proyecto importado de España se construyeron en Santiago de Cuba once edificios en dos urbanizaciones del Distrito 1 de la ciudad, ocho en Viviendas Las Américas zona-6 y tres en Viviendas Jardines de la Cervecera (Figura 1). Las normas consideradas en su diseño fueron Aceros conformados: Eurocódigos 3 y 4, y Aceros laminados y armados: CTE DB SE-A.



Figura 1. Ubicación y ejecución de edificios con proyecto español en las urbanizaciones Las Américas zona-6 y Jardines de la Cervecera

Teniendo en cuenta la disponibilidad de perfiles que ofrece la Planta de producción nacional LAMCOMET, con características homologadas en correspondencia con las del surtido de elementos que analiza el código AISI (American Iron and Steel Institute), es posible que estos puedan utilizarse para aplicar el sistema como alternativa en Cuba y en Santiago de Cuba. Sin embargo, por la necesidad de esclarecer aspectos del diseño estructural para la implantación de estas edificaciones, se comprobó que el código vigente en Cuba para el análisis de edificios metálicos ligeros de acero conformado en frío *NC:53-94 1983 Elaboración de proyectos de construcción. Estructuras de acero* (Cuba. Comité Estatal de Normalización) tiene más de tres décadas y no está actualizado con los últimos avances científicos internacionales, referentes a la capacidad de los perfiles canal de resistir las fuerzas laterales generadas por la excentricidad del centro de corte y al chequeo del pandeo torsional en el alma, las alas y las pestañas de las canales. No se dispone una metodología adecuada para

considerar el efecto de la acción del sismo en las condiciones de peligro sísmico elevado de la región suroriental.

El objetivo de la investigación fue la revisión de los códigos actuales sobre el diseño sismorresistente de estructuras ligeras de acero conformado en frío.

RESULTADOS

Análisis histórico y tendencial del diseño sismorresistente de estructuras ligeras de acero conformado en frío

La construcción metálica industrializada nace en la Inglaterra del siglo XVIII y desde el siglo XIX ha tenido gran protagonismo en la construcción, fundamentalmente de ingeniería civil, debido al desarrollo del sector industrial relacionado con su fabricación. A partir del siglo XX comenzó a utilizarse para levantar las estructuras más altas que existen, entre las más famosas se encuentran la Torre Eiffel en París, el Empire State Building en Nueva York, la torre Sears en Chicago, el edificio Taipéi 101 de Taiwán con más de 500m de altura, etc. La producción en grandes cantidades con alta calidad y fiabilidad además del suministro de una mayor variedad de productos, permitió que en ese mismo siglo se desarrollara la tecnología *Steel frame* (SF).

La tecnología SF surgió a finales del siglo XIX en Estados Unidos basada en el *balloon framing*, que empleaba montantes y viguetas de madera a distancias reducidas. Por el acelerado crecimiento demográfico se recurrió a métodos de construcción más rápidos, lo cual permitió que el sistema evolucionara hacia una estructura similar, empleando como material de construcción perfiles ligeros de acero de bajo espesor conformados en frío. La implantación en los E.U se produjo a mediados del siglo XX con la construcción de edificios comerciales y su irrupción fue mucho más evidente en la construcción residencial, ya que propició que Chicago y San Francisco se transformaran de pequeños pueblos en grandes ciudades en muy poco tiempo (INCOSE Instituto de la Construcción en Seco, 2016, p. 22).

La experiencia mundial indica que el acero va remplazando paulatinamente a otros materiales usados en la construcción de las viviendas. En E.U, un país donde la

industrialización es prácticamente el único método de construcción residencial, a finales del siglo XX el 25 % de la misma estaba basado en este sistema. Durante los cuatro primeros años del siglo XXI la demanda de este tipo de viviendas experimenta en E.U un aumento del 300 % y el empleo de esta tecnología continúa afianzándose (Bateman, 1998, p. 38).

Con una fuerte implantación americana su uso se ha extendido y ya es tradicional en algunas zonas del norte de Europa, donde muchas viviendas se construyen con este sistema. Es significativo su uso en Japón, Canadá, China, Dubai, Taiwán, Sudáfrica y en algunos países sudamericanos como Chile y Brasil. En Hawai su utilización alcanza el 40 %, según datos de la Steel Framing Alliance. Las posibilidades de su aplicación son amplias y los perfiles que se emplean son bastante similares entre los fabricantes. SF se usa como elemento primario en edificios de hasta tres niveles de altura y como elemento secundario en otras estructuras, así como en ampliaciones y rehabilitaciones de edificaciones con otro tipo de sistema estructural. En Columbus (Ohio, E.U), el Hotel Hilton Polaris, de diez niveles, fue construido en 2007 con la primera planta en acero estructural. Para resistir las cargas laterales se usaron núcleos centrales de hormigón. En paredes, losas y cubiertas se empleó el sistema SF (Cofides, 2017).

Evolución y desarrollo del uso de estructuras ligeras de acero conformado en frío en Cuba

En Cuba no hay gran tradición en el empleo del sistema SF, su introducción data de una década y está en proceso de expansión. Fue introducido en 2008 por el Grupo Blue Coast para la aplicación en viviendas y edificaciones industriales.

Con la participación de empresas mixtas (Titán Steel, Cofides, Teconsa) en el país ya se han ejecutado edificios para viviendas en El Cotorro, y otros como Alojamientos Villa Habana en el área del Malecón habanero, la Oficina Nacional de Diseño (ONDI), edificaciones para uso empresarial en la Zona Especial de Desarrollo Mariel (ZEDM), la clínica de rehabilitación Las Praderas, el parque fotovoltaico ExpoCuba, etc. También se aplica en el sector turístico en edificaciones hoteleras de Cayo Coco y Cayo Santa María (ver figura 2).

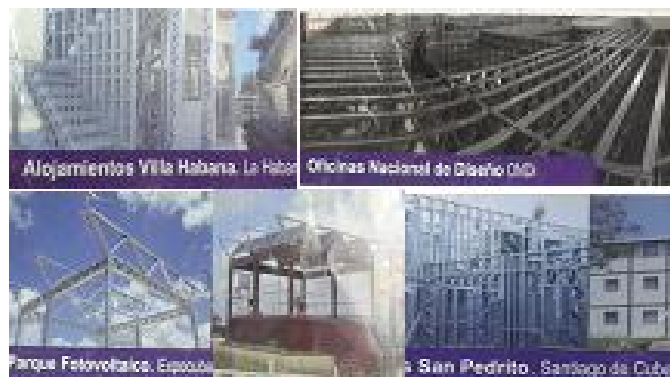


Figura 2. Aplicación en Cuba del sistema SF (fuente: plegable LAMCOMET)

En el año 2013 comenzó su aplicación en Santiago de Cuba para la erradicación del barrio San Pedrito, con la construcción de once edificios.

Para 2018 la Dirección de Inversiones de la Vivienda en Santiago de Cuba pretende ampliar su uso y ha aprobado un plan de construcción de viviendas, que se insertarán en diversas urbanizaciones. Aprovechando las ventajas que ofrece el sistema, el Ministerio del Turismo ha propuesto su uso en la rehabilitación del hostel El peregrino en El Cobre, así como la construcción de un hotel Meliá cinco estrellas en la ciudad de Trinidad, según el director de Teconsa. A pesar de que la introducción del SF en Cuba es reciente, el desarrollo de su uso ha tenido avances considerables.

Elementos componentes del sistema SF

-La estructura: basada en un entramado de perfiles de bajo espesor conformados en frío en forma de C y de U ubicados a distancia modular (constituyendo paneles), que unidos a las losas de cubierta y de entrepiso y al sistema de arriostramiento de paredes garantizan la distribución uniforme de las cargas gravitatorias y son los elementos base para que la estructura resista cargas sísmicas y de viento. La cimentación debe ser continua, ya que la carga se distribuye a lo largo de los paneles (ver figura 3).



Figura 3. Composición del sistema (fuente: propia)

-Los elementos del acabado o cierre: los paneles del revestimiento de OSB (*oriented strand board*) o los multilaminados se colocan en ambas caras de los paneles; se considera que son estructurales, ya que poseen una apreciable rigidez y resistencia. En los tableros de *plyrock*, *plycem*, *cement board* el principal componente de los materiales es el cemento, por lo que su vida útil no es inferior a la de una pared de hormigón.

-Los subsistemas: eléctrico, hidráulico y el de aislación termoacústica se ubican a través de la retícula de la estructura.

-Las conexiones: las uniones en los marcos se realizan mediante remaches de acero de alta resistencia y los marcos entre sí con tornillos autorroscantes, que se dimensionan según la exigencia de la conexión. La resistencia global de la estructura depende de la correcta unión de los elementos.

En zonas de alta sismicidad en los paneles se colocan las cintas diagonales de arriostramiento (cruces de San Andrés), que forman parte de la estructura del sistema. El ángulo de inclinación de la cinta está relacionado con la capacidad de resistir las cargas.

La forma de evolución del SF en los últimos tiempos ha incrementado sus ventajas, entre las que se pueden citar: las fuerzas sísmicas inerciales son relativamente reducidas, las resistencias de los planos estructurales arriostrados contribuyen eficientemente a la estabilidad del conjunto y le confieren la ventaja adicional de una relativa alta rigidez, ligereza; reduce costos de ejecución; acelera el proceso constructivo, ya que no requiere paradas técnicas para entrar en carga, desmontable y reciclable, *ecofriendly*. Las obras con el sistema constructivo *Steel/ frame* se caracterizan por generar poco material de escombros, poco consumo de

cemento; utilizar poca maquinaria, pocos medios de elevación, mucho trabajo ejecutado por mano de obra no calificada y una rápida ejecución.

Sin embargo, el sistema tiene la desventaja de que no permite la construcción en altura. Debido a sus características se recomienda su uso hasta tres niveles estructurales en zonas de alta sismicidad. Es importante destacar que esta limitación se refiere únicamente a la relación costo-beneficio, pues manteniendo los mismos perfiles puede resultar difícil lograr estructuras de rigidez alta.

Análisis de normativas para el diseño sismorresistente de estructuras ligeras de acero conformado en frío

Las normas de diseño para el acero laminado en caliente fueron adoptadas en 1930, pero no eran aplicables a las secciones en frío, ya que sus paredes relativamente delgadas fueron sensibles a deformación. Se hizo necesario establecer requisitos mínimos y prescripciones para controlar sus características de pandeo y la fuerza.

Esto dio lugar a que a finales de la tercera década del siglo XX se iniciara en la Universidad de Cornell, New York, E.U, la investigación teórica y experimental de este tipo de secciones para el diseño de las estructuras SF. A partir de los resultados se emitieron las regulaciones para el diseño, que durante décadas se han sometido a mejoras para incorporar los criterios más actualizados de la investigación científica. Los códigos se basan en la resistencia de los marcos a carga lateral.

En los estudios se observó que en las delgadas paredes de los perfiles se produjo pandeo local en algunos tramos bajo determinadas condiciones de carga y que incluso después de la abolladura de los miembros, estos elementos fueron capaces de soportar cargas mayores. Se determinó que para mantener la estabilidad de la estructura cuando es sometida a cargas horizontales se pueden considerar dos sistemas de resistencia a carga lateral básicas: uno es logrando la estabilidad en los elementos por el uso de correas planas de acero en diagonal (Cruces de San Andrés) como arriostramiento; el otro, si los elementos de revestimiento tienen la resistencia y rigidez necesarias y las conexiones

adecuadas a los perfiles, losas, y paredes pueden realizar la función de diafragmas que transmitirán las cargas laterales a la cimentación.

Para contrarrestar el pandeo se deben reforzar las uniones mediante la colocación de cartelas, por lo que se prescriben las conexiones mínimas para evitar el fallo. Se ha estudiado el comportamiento de las conexiones, de lo cual depende la estabilidad de estas secciones.

En las investigaciones auspiciadas por el AISI se ha comprobado que el sistema SF tiene un adecuado comportamiento para las cargas sísmicas y se han logrado avances importantes en el diseño, lo que permite evaluar con precisión los efectos desfavorables que se pueden producir en los perfiles relacionados con la estabilidad al pandeo.

En 1946 se publicó la primera especificación para el diseño de miembros estructurales de acero por el AISI en los E.U. Este documento se llamó *Especificaciones para el Diseño de Miembros de Acero Estructural de Calibre Ligero*, fue revisado posteriormente en los años 1949 (segunda edición), 1956, 1960, 1962, 1968, 1980, 1986, 1991, 1996, 2001, 2007, 2011 y 2016, para reflejar los resultados de la investigación continuada en Cornell y otras universidades, con datos actualizados e información adicional para los diseñadores.

En el año 1991 AISI publicó la primera edición del *Factor de Carga y Resistencia de las Especificaciones de Diseño*, desarrollado en la Universidad de Missouri y la Universidad de Washington.

En 1996 las especificaciones ASD y LRFD se combinaron en una única. En la *Conferencia Internacional Especializada en Estructuras de Acero Formadas en Frío*, en St. Louis, Missouri, E.U, los conferencistas procedentes de diversos países (Australia, E.U, Sudáfrica, Reino Unido, Canadá) expusieron los avances logrados. Se analizó la capacidad de reserva de los perfiles canal con pestañas en las alas y la resistencia nominal de segmentos no arriostrados lateralmente sujetos al pandeo lateral, en secciones simples y/o compuestas. Se determinaron las causas de los problemas, demostrando que:

1. El desgarramiento del alma del perfil se produce cuando no se colocan suficientes rigidizadores de carga, bajo grandes cargas o reacciones.

2. Para secciones compuestas por dos canales se estableció el espaciamiento longitudinal máximo permisible entre conectores, teniendo en cuenta los puntos de concentración de fuerzas.

En el año 2001, teniendo en cuenta que Canadá, E.U y México tenían normativas independientes, se aprobó la unificación de criterios por consenso de la Comisión sobre las Especificaciones AISI, la Canadian Standards Association (CSA) y el Comité Técnico del conformado en frío de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y Acero (CANACERO) de México. Se incluían los métodos CIA y LRFD para los Estados Unidos y México, junto con el método de diseño de los estados (LSD) para Canadá. Esta especificación para América del Norte *North American Specification for the Design of Cold-formed steel structural* fue acreditada por el American National Standard Institute (ANSI) como un estándar para remplazar la especificación AISI de 1996 y la Norma de 1994 de la CSA.

Con el desarrollo de las investigaciones la edición 2001 fue revisada y ampliada, dando lugar a una actualización con mayor precisión en el chequeo de las secciones empleadas en el diseño.

En la edición 2007 el código introdujo nuevas prescripciones, que permiten evaluar el pandeo distorsional para las montantes y vigas en flexión y para los montantes comprimidos. Es un evidente avance técnico en problemas que habían sido ignorados en las ediciones anteriores de la Norma. Sin embargo, ese hecho prueba que por este motivo no han existido problemas muy graves, ya que si así hubiera sido este problema hubiera sido abordado desde hace mucho tiempo. En ese año se autorizó un huelgo de montaje entre los extremos de los montantes y las almas de las vigas, ya que en la práctica las curvaturas interiores de las vigas no permiten un contacto pleno entre ambos perfiles. Además, se agregó el *Standard AISI S213 LATERAL DESIG* con especificaciones para las verificaciones de cálculo de las resistencias laterales para el caso del viento y los terremotos. Se fijaron los requisitos de forma de los diafragmas del sistema (relación largo-ancho).

La edición de 2011 contiene disposiciones que se aplican en Canadá, E.U y México. Además, regula los tipos de fijaciones, incluyendo soldaduras, pernos y

tornillos, y se incluyen desde entonces perforaciones en los perfiles. En la edición 2016 se incorpora al código la revisión de la resistencia a corte del alma de secciones I y C, con y sin considerar el campo de tracción.

En varias ediciones de las especificaciones el AISI ha publicado, además: Comentarios, Manuales de diseño, Normas de diseño, Diversas guías de diseño y las “Ayudas de diseño” para el uso de acero conformado en frío. En cada edición del código AISI figuran diversas modificaciones y nuevas cláusulas que modifican en varios aspectos el cálculo estructural de los perfiles conformados en frío.

Los avances en las investigaciones realizadas en E.U estimularon el estudio del sistema SF en otros continentes. La Comunidad Europea publicó un solo reglamento aplicable a los países que la integran, el *Eurocode 3*, que define el Diseño de Estructuras Metálicas (*Design of Steel Structures*). Por su parte, el Centro de Edificios de Japón, con sede en Tokio, emite un reglamento que aplica a todo el país, llamado *Provisiones Estructurales para Edificios* (*Provisions for Building Structures, BCJ-06*), que contiene los criterios de diseño sísmico y que incluye un apartado para cada sistema estructural (ver tabla 1).

La norma cubana NC: 53-94 1983, que rige el diseño de las estructuras metálicas con perfiles de acero conformado en frío para la construcción de edificaciones, no está en correspondencia con el desarrollo tecnológico existente en el mundo. La misma no se ha actualizado en más de treinta años, a pesar de que en la última década operan en el país compañías mixtas dedicadas a su diseño, comercialización y construcción; por lo que no incorpora los avances recientes de la investigación científica.

Tabla 1. Estándares internacionales de diseño de estructuras laminadas en frío

País	Código	País	Código
Alemania	DIN 18800:2008-11	Italia	Eurocodigo 3 (Italia), NTC 14/01/2008
Brasil	ABNT NBR 14762:2010, AISI	Bulgaria	Eurocodigo 3
Chile	NCH 427/1:2016	Francia	Eurocodigo 3
España	EAE, CTE DB SE-A, EA 2011 (MV110)	Canadá	CAN/CSA S136-07
Sudáfrica	SANS 10162-2:2011	México	AISI/NASPEC-2007
Portugal	Eurocodigo 3 (MV110)	E.U	AISI Specifications for the design of cold formed structural members 2016

La carencia de un reglamento actualizado en Cuba motiva que se utilicen códigos de otros países. Según criterios de los autores las *Especificaciones para el Diseño de Miembros Estructurales con Perfiles de Acero Doblados en Frío*, del AISI, constituye la principal guía de diseño para estos tipos de estructuras.

CONCLUSIONES

1. En el diseño de las estructuras SF es necesario conocer y aplicar las nuevas consideraciones hechas al diseño sismorresistente, que han dado lugar a la actualización de los códigos en el contexto internacional. La norma cubana vigente debe incorporar los nuevos criterios y prescripciones.
2. Por no disponer de un reglamento nacional actualizado se recomienda el método ASD del AISI para el diseño de esas estructuras. Es importante la ubicación, inclinación, punto de aplicación y dirección de las cargas aplicadas a un perfil canal en la evaluación de la resistencia del mismo; asimismo, es necesario tomar en cuenta el efecto de la torsión de los perfiles tipo C y U, generados por la ubicación excéntrica del centro de corte.

3. Para su implantación en el sur de la región oriental de Cuba el diseño debe cumplir los requisitos de sismorresistencia referentes a la limitación de la altura de la edificación a tres niveles, configuración de la edificación (en planta y en elevación), certificación de la calidad de los materiales y detallado de las conexiones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bateman, B. W. (1998). Department of Construction Science of A&M University College Station, Texas.

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

Cofides (24 January, 2017). *COFIDES supports Estructuras Titan Steel in its international expansion in Cuba*. Recuperado de <https://www.cofides.es/en/noticias/notas-de-prensa/cofides-supports-estructuras-titan-steel-its-international-expansion-cuba>

INCOSE Instituto de la Construcción en Seco (2016). *Manual de Recomendaciones Construir con Steel Framing* (2016). Recuperado de <https://es.scribd.com/document/381826404/manual-steel-framing-incose-v2016-pdf>

Recibido: mayo de 2018

Aprobado: septiembre de 2018