

SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL COMPORTAMIENTO DE CONEXIONES SOLDADAS RÍGIDAS DE TRABES A COLUMNAS DE PERFILES HSS RECTANGULARES

Yáñez Rodríguez, Luis Guillermo (1), Esqueda Oliva, Humberto (2)

¹ [Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato] | [lg.yanezrodriguez@ugto.mx]

² [Aula CIMNE UG, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [esqueda@cimat.mx]

Resumen

Debido a sus excelentes propiedades, en las secciones estructurales huecas (HSS) de acero podemos encontrar numerosas edificaciones que no sólo cumplen con la seguridad estructural requerida, sino también con criterios de economía y belleza estética. Es por ello que el uso de este tipo de perfiles se ha incrementado en todo el mundo. Sin embargo, estas ventajas son a menudo subexplotadas debido a la falta de guías de diseño y datos experimentales relacionados con el comportamiento inelástico en estas conexiones. Actualmente, las herramientas computacionales, como el método de los elementos finitos (MEF), han permitido análisis numéricos más robustos. La ingeniería civil se ha valido de dichas herramientas para predecir con mayor certeza el comportamiento estructural. Bajo el mismo esquema, este trabajo pretende simular numéricamente, conexiones metálicas en columnas rectangulares de sección hueca (RHS) con trabes de sección "I", determinando así su confiabilidad estructural.

Abstract

Due to its excellent properties, in the steel hollow structural sections (HSS) we can find numerous buildings that not only comply with the required structural safety, but also with criteria of economy and aesthetic beauty. That is why the use of this type of shapes has increased worldwide. However these advantages are often underexploited due to the lack of design guides and experimental data related to the inelastic behavior in these connections. Currently, computational tools, such as the finite element method (FEM), have allowed more robust numerical analysis. Civil engineering has used such tools to more accurately predict structural behavior. Under the same scheme, this work intends to simulate numerically, metallic connections in rectangular hollow section (RHS) columns with "W" section beams, determining their structural reliability.

Palabras Clave

Estructuras de acero; Ingeniería estructural; Análisis elástico-lineal; Distribución de esfuerzos.

INTRODUCCIÓN

El uso de los perfiles estructurales de sección hueca (HSS, por sus siglas en inglés) se ha incrementado dramáticamente en años recientes. La estética agradable generada por las secciones expuestas es preferida por arquitectos, además los HSS proveen de una reducción en el peso de la estructura cuando son comparadas con otros perfiles de sección abierta equivalentes. No obstante lo anterior, las conexiones con HSS han sido el aspecto desafiante para el diseñador estructural [1].

Usos de los perfiles de sección hueca

Se mencionó anteriormente que los perfiles tubulares cumplen con ciertas expectativas estéticas, sin embargo no todos los perfiles tienen el mismo uso. Los perfiles pueden ser circulares (CHS), rectangulares (RHS) o cuadrados (SHS), cada uno con diferentes aplicaciones [2]:

- Sección rectangular hueca (RHS)

Comúnmente se usan en pórticos de acero soldados. La superficie plana que los compone facilita las conexiones reduciendo costos. Se requieren preparaciones mínimas para unir y soldar perfiles RHS.

- Sección circular hueca (CHS)

Ésta fue la primera HSS y su uso es todavía frecuente. Desde una perspectiva arquitectónica, el contorno limpio que la define, proporciona un aspecto de superficie muy liso. La falta de bordes ayuda a reducir los efectos de exposición y una mayor limpieza al polvo. Por razones estéticas son usadas como columnas en estructuras expuestas.

- Sección cuadrada hueca (SHS)

En términos de su apariencia y comportamiento estructural, los perfiles SHS están posicionados entre los RHS y CHS. Su simetría exhibe algunos aspectos estéticos de los CHS conservando las superficies planas de los RHS para una mejor conectividad. Al igual que las CHS, son preferidas como columnas.

Esta investigación aporta a investigaciones previas que estudian este tipo de casos, siendo un buen comienzo en la búsqueda de soluciones numéricas confiables [3].

Ventajas estructurales de una columna HSS

Los elementos estructurales han existido por siglos. Muchos ejemplos en la naturaleza muestran las excelentes propiedades de las formas tubulares respecto a las cargas de compresión y torsión. Algunos ejemplos de lo anterior se muestran en la imagen 1.



IMAGEN 1: Ejemplos de la naturaleza con formas tubulares: Bambú y tallos de plantas. Imágenes recuperadas de [4]

La capacidad de tensión de un elemento depende del área de sección transversal y del límite elástico y es independiente de la forma de la sección, en razón de ello los HSS no tienen alguna ventaja o desventaja. Sucede algo similar con la resistencia a la flexión, los perfiles "I" o "H" son más económicos bajo esta condición ya que el momento de inercia es mayor en su eje fuerte. La principal ventaja de los perfiles tubulares radica en su resistencia a la compresión y a la torsión [4].

- Compresión

Para miembros en compresión cargados en centro, la carga de pandeo crítica depende de la relación de esbeltez y la forma de la sección. Ya que el radio de giro de una sección hueca (en relación a la masa del miembro) es generalmente mucho más grande que el de una sección abierta, los perfiles HSS tendrán mayor resistencia al pandeo [4].

- Torsión

Las secciones huecas, especialmente las CHS, tienen la mayor sección transversal efectiva para resistir momentos torsionales debido a que el material está uniformemente distribuido alrededor del eje polar [4].

Clasificación de las conexiones

Todas las conexiones proporcionan cierta restricción a la rotación de los elementos conectados del miembro. Con base en el grado de restricción proporcionada, las conexiones de viga a columna pueden clasificarse como rígida, articulada (o de cortante simple) o semirrígida. Las *conexiones rígidas* son aquellas que logran mantener casi sin cambio el ángulo original entre miembros que se intersectan en ella bajo la carga de diseño. Las conexiones de cortante simple son las que proporcionan nula restricción rotacional a los elementos a unir. Las conexiones semirrígidas son las que tienen una capacidad confiable y conocida, cuya restricción a la rotación relativa es de grado intermedio entre la de una conexión rígida y la de las conexiones de cortante simple [5].

En el pasado, la mayor parte de los proyectistas diseñaban las conexiones viga-columna como uniones articuladas o como rígidas [6]. Sin embargo, esto no es del todo cierto, ya que la rigidez de una conexión se encuentra en un punto intermedio de estas condiciones. El comportamiento *completamente simple* y el *completamente rígido* son condiciones ideales a las que sólo se puede tener una aproximación (nunca se alcanzan) [5]. Un aspecto importante en la elección de una conexión es el costo. El uso de conexiones semirrígidas ofrece una reducción en los costos al compararlo con una conexión rígida, la primera suele necesitar menos *rigidizadores* (o no necesitarlos) que la segunda [6],

Las conexiones semirrígidas viga-columna pueden ser una opción ventajosa para el diseño sísmico, ya que se puede disipar una cierta cantidad de energía dentro de las conexiones y también debido a que se puede evitar la innecesaria sobretensión en áreas locales de las uniones frágiles. No obstante el desarrollo de conexiones semirrígidas seguras bajo una condición de carga cíclica

inelástica requiere considerables investigaciones, por lo que no es fácilmente aplicable al trabajo ordinario de un gabinete de diseño. Para desarrollar una capacidad resistente completa a momento, suele ser necesario emplear *rigidizadores transversales* en la columna para transferir las cargas axiales en las alas de la viga. Este *rigidizador* puede ser un diafragma pasante, un diafragma interno o un diafragma externo. En Japón el diafragma pasante es la opción más popular, el cual consta en cortar la columna e introducir dicho diafragma para su posterior sujeción con soldadura. En nuestro país, este procedimiento puede ser complicado desde el punto de vista constructivo, y el costo unitario de la conexión sería muy elevado. Otro factor que hace que los diafragmas pasantes se usen comúnmente, es que la mayoría de los fabricantes japoneses poseen recursos de producción bien establecidos, particularmente robots de soldadura, más adecuados para producir este tipo de uniones [6].

A diferencia de los anteriores, al implementar los diafragmas externos no se requiere ningún tipo de corte. Esta es la razón por la que se opta por este tipo de conexión. Se trata de una placa que rodea el perímetro de la columna, misma que se suelda a los patines de la viga. Estas conexiones se han estudiado principalmente en la Universidad de Kobe (AIJ, 1996), sin embargo el estudio sigue en desarrollo ya que existe la incertidumbre en la distribución de esfuerzos [6].

Estados límite de la conexión usando HSS

Existe un cierto número de estados límite asociados a todos los elementos involucrados (soldadura, almas de vigas, placas, etc.) en cualquier tipo de conexión que son aplicables en el cálculo. Los estados límite para los perfiles HSS son [1]:

1. Plastificación de la pared de la columna.
2. Punzonamiento por cortante en la pared de la columna.
3. Pandeo local de la columna por distribución irregular de carga.
4. Falla de la pared de la columna por cortante.

Prueba de este exceso en las cargas, se tienen las imágenes siguientes:

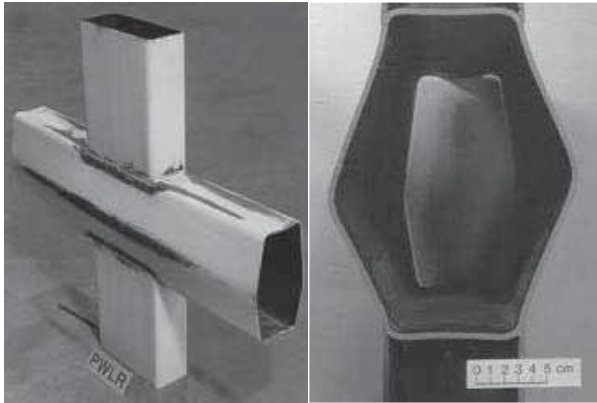


IMAGEN 2: Falla en la pared lateral de un HSS rectangular (izq. vista lateral y der. vista desde arriba) bajo carga de compresión.

Hoy en día con la capacidad de cómputo con la que contamos, podemos aplicar el método de los elementos finitos (MEF) para el análisis estructural ya que aplicando los tradicionales métodos analíticos sería casi imposible determinar el comportamiento. En este trabajo se empleó este método para simular la conexión en cruz de traveses de sección "I" a una columna cuadrada de sección hueca (SHS), bajo un análisis elástico-lineal, utilizando la configuración de un diafragma externo y así conocer a detalle la distribución de esfuerzos. Para validar su confiabilidad, se probó la misma conexión de elementos sustituyendo el diafragma por placas para resistir momentos flexionantes.

Con los mismos fines, se realizó un análisis estructural modelado con barras. Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos del MEF con una alternativa de software comercial para análisis.

MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se utilizaron modelos computacionales de las conexiones a probar. Con ayuda del software "GiD" desarrollado por el Centro de Investigación de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE, por sus siglas en catalán) se generó la geometría que define a la conexión (preproceso) y se obtuvo la visualización de los resultados (postproceso). Para el análisis estructural, se utilizó el software "MEFI 2.0"

desarrollado por el Aula CIMNE UG de la Universidad de Guanajuato. En el análisis estructural modelado por barras, se empleó una versión educativa del software "SAP2000" desarrollado por la empresa Computers and Structures, Inc.

Los modelos que se analizaron fueron dos: 1) la conexión con diafragmas externos y 2) sustituyendo estos por placas de momento. Los elementos a conectar son los mismos; la columna es una sección tubular HSS16x16x5/8" y la trabe W14X82. La configuración se detalla en la imagen 3:

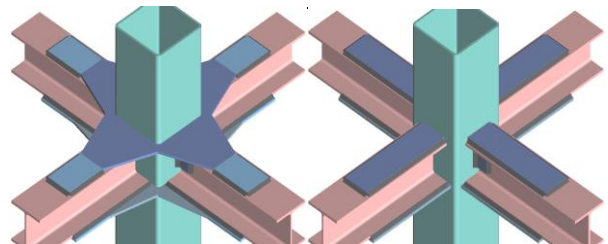


IMAGEN 3: Configuración de las conexiones analizadas. 1) Modelo con diafragmas externos a la izquierda y 2) modelo sin placas externas a la de.

Al emplear un modelo de elementos finitos, se requiere definir las condiciones a las que estará sujeto el problema. Desde las cargas actuantes hasta los materiales de los que está hecho. Las condiciones de contorno se resumen a que se restringió el movimiento de las caras superior e inferior de la columna, simulando una condición de empotramiento. Los dos modelos se probaron con las mismas cargas actuantes, mismas que se determinaron por los estados límites expuestos anteriormente. Cuando todo está definido, se procede al análisis.

Mediante el mismo software de preproceso, se generó una malla de elementos finitos, que le permite al software "MEFI 2.0" resolver el problema. El problema se resume en resolver grandes sistemas de ecuaciones lineales. Al terminar el análisis, se procesa la información. En los resultados se observa la deformación en los elementos en las tres direcciones y la distribución de esfuerzos de la conexión. La comparativa entre el modelo con el MEF y el modelo de barras se realiza por el resultado de la rotación. En el primero se obtiene un promedio de los desplazamientos en los nodos de la sección transversal de la columna, que se encuentran al

nivel del diafragma, conociendo el desplazamiento superior e inferior es trivial el cálculo del ángulo de rotación, en el segundo, el análisis devuelve directamente este valor.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente tabla comparativa, se aprecian las rotaciones, donde las rotaciones obtenidas por el MEF resultaron superiores a las del software comercial.

Tabla 1: Comparación de las rotaciones nodales en radianes

Tipo de Conexión	Modelo SAP2000	Modelo MEF	Diferencia	Porcentaje
Con diafragmas	1.1579E-03	2.1740E-03	1.0143E-03	187.5%
Sin diafragmas	1.1579E-03	6.008E-03	4.8483E-03	518.1%

Las imágenes siguientes muestran la comparativa de los desplazamientos y distribución de esfuerzos:

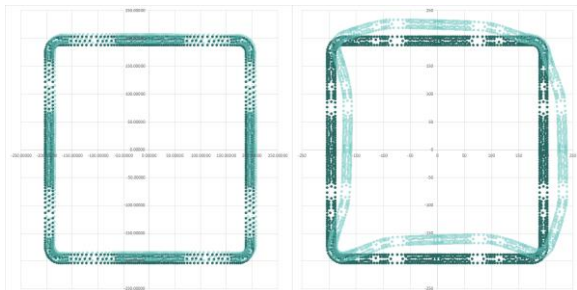


IMAGEN 4: Gráfico de los desplazamientos de las secciones transversales de la columna a nivel de placas superiores aumentado 10 veces, la deformación en color más tenue. (izq. con placas externas, der. sin placas)

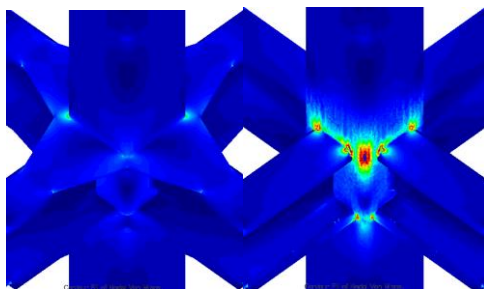


IMAGEN 5: Distribución de esfuerzos en la conexión (izq. usando diafragmas externos, der. sin diafragmas externos)

De lo anterior, se rescata que el modelo sin diafragma presenta una concentración exagerada de esfuerzos en las paredes de la columna, mientras que en el que sí tiene el diafragma, no se presenta este tipo de problemas.

CONCLUSIONES

Se concluye que el diafragma externo brinda una mejor distribución de esfuerzos entre los elementos de la conexión, previniendo fallas en la columna. En cuanto a las rotaciones observamos grandes variaciones entre métodos, esto debido a que el software comercial no considera aspectos reales de la conexión, tales como el espesor de las placas y tamaño de soldadura. Bajo los resultados de este trabajo no podemos asegurar la integridad estructural bajo cargas cíclicas, es necesario experimentar el comportamiento no lineal de la estructura y ensayar modelos que consideren variaciones constructivas reales.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al M.C. Humberto Esqueda Oliva por la orientación durante esta estancia de investigación. De la misma manera al Aula CIMNE UG de la Universidad de Guanajuato por brindarme el apoyo de espacio de trabajo y equipo de cómputo.

REFERENCIAS

- [1] Parker, J., Sherman, D. & Lecce, M. (2010). Steel Design Guide No. 24, Hollow Structural Section Connections (1st Ed). E.U.A. American Institute of Steel Construction.
- [2] Metalcorp (2017), Structural Steel Tube (RHS, CHS, SHS), Australia, Recuperado de: <http://www.metalcorpsteel.com.au/>
- [3] Valadez, A., Esqueda, H. (2016), Simulación Numérica de Conexiones Metálicas Trabe-Columna por el Método de los Elementos Finitos, Jóvenes en la Ciencia.
- [4] Wardenier, J., Packer, J. A., Zhao, X. -L. & van der Vegte, G. J. (2010). Hollow Sections in Structural Applications (1st ed.) Ginebra, Suiza: CIDECT.
- [5] Vinnakota, S. (2006). Estructuras de acero, comportamiento y LRFD (1st ed.) Boston, E.U.A.: McGraw-Hill.
- [6] Kurobane, Y., Packer, J. A., Wardenier, J. & Yeomans, N. (2004). Design Guide No.09, For Structural Hollow Section Column Connections (1st ed.) Alemania: Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tubulaire (CIDECT).