

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE CONEXIONES METÁLICAS TRABE-COLUMNA POR EL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

Lugo Valadez Aldo Alonso (1), Botello Rionda Salvador (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [aa.lugovaladez@ugto.mx]

2 [Aula CIMNE-UG, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [botello@ciimat.mx]

Resumen

En los últimos años, se ha incrementado el uso de columnas tubulares en estructuras de acero debido a su buen comportamiento ante cargas axiales y a su buena estética. El problema de utilizar este tipo de perfiles en columnas es que requieren complejas conexiones a las traveses para asegurar un comportamiento rígido y evitar fallas locales en la pared del perfil. Utilizando métodos analíticos tradicionales, resulta muy difícil determinar las concentraciones de esfuerzos y las deformaciones locales que se presentan en este tipo de conexiones. Hoy en día, gracias a la gran capacidad que ofrecen las computadoras modernas, es posible realizar simulaciones numéricas que permiten conocer con gran precisión el comportamiento estructural de dichas conexiones. El presente trabajo de investigación consiste en el uso del método de los elementos finitos (MEF) para el análisis estructural de conexiones rígidas de traveses de sección I con columnas circulares de sección hueca (CHS), comparando el comportamiento de dos configuraciones geométricas muy utilizadas en México para la construcción de edificios de acero que requieren ese tipo de conexiones, con la finalidad de averiguar si éstas cumplen con los criterios de rigidez que se suponen en el análisis de la estructura.

Abstract

In recent years, the use of tubular columns in steel structures has increased due to its good response to axial loads and to its good aesthetics. The problem with using this type of sections is that they require complex connections to girders to ensure a rigid behavior and avoid local failures on the wall of the column. Using traditional analytical methods, it is almost impossible to determine the stress concentrations and strains in the connection. Today, thanks to the great computing power available, it is possible to perform numerical simulations that allow us to know with great precision the structural behavior of such connections. This research involves the use of the finite element method (FEM) for structural analysis of rigid connections of W section beams with circular hollow section (CHS) columns, comparing the behavior of two geometric configurations widely used in Mexico for the construction of steel buildings that require such connections, in order to ascertain if they meet the stiffness criteria that are assumed in the analysis of the building structure.

Palabras Clave

Estructuras de acero; Conexiones rígidas trabe-columna; Perfiles tubulares de sección hueca, Elementos Finitos.

INTRODUCCIÓN

Los perfiles estructurales de sección hueca (*HSS*, por sus siglas en inglés) son los más eficaces para resistir cargas axiales de compresión, gracias a su forma geométrica, comparados con otros perfiles estructurales, tales como los perfiles I, H, L, etc... [1]. Esto, aunado a su belleza estética natural, ha provocado un incremento en la utilización de perfiles *HSS* en todo el mundo. Sin embargo, aún existen diseñadores y fabricantes que dudan de la resistencia en las conexiones con estos perfiles y optan por seguir utilizando perfiles convencionales.

Ventajas de las columnas de perfil *HSS*

Radio de giro mayor

El radio de giro de un perfil estructural tubular es significativamente mayor que el de un perfil abierto de tamaño y área similares. Debido a esto, la relación de esbeltez será menor que la de un perfil H ó I para la misma longitud efectiva, lo que le otorga una mayor capacidad de soportar compresión sin pandear. [1]

Producción

Los fabricantes facilitan en gran medida las construcciones con perfiles *HSS*. En el mercado se encuentran disponibles perfiles de este tipo en longitudes de hasta 20 m., gracias a esto, los empalmes necesarios para edificios de gran altura serán reducidos. [1]

Otra ventaja adicional es que, el diámetro exterior de la sección se mantiene, mientras que el diámetro interior varía en función del espesor del perfil, por lo que si el área de la sección transversal de la columna se reduce conforme la altura es mayor, las longitudes de las vigas podrán ser las mismas para toda la altura del edificio. [1]

Apariencia

La belleza estética generada por los perfiles *HSS* expuestos es muy gustada por los arquitectos, motivo por el cual el uso de estos perfiles ha incrementado.

Momento polar de inercia mayor

El momento polar de inercia de los perfiles *HSS* es mucho más grande que el de los demás perfiles,

por lo que los esfuerzos de torsión presentes en la sección serán menores si se someten a pares torsionantes de igual magnitud.

Clasificación de las conexiones

Empecemos definiendo “Conexión”:

“Una conexión se define como el agregado de las partes componentes usadas para unir miembros, e incluye elementos afectados (vigas y columna), elementos de conexión (placas de unión) y conectores (tornillos, soldaduras y pasadores)” [2]

Las conexiones son uno de los elementos de costo unitario más alto en una estructura de acero. Por lo tanto, el costo de una construcción de acero dependerá en gran medida de la elección de las conexiones.

Generalmente, las conexiones son estáticamente indeterminadas, y la distribución de las fuerzas y los esfuerzos internos depende de la deformación relativa de las partes que las componen. Todas las conexiones restringen en cierta manera la rotación de los extremos del miembro conectado. Con base en el grado de restricción proporcionada, las conexiones de viga a columna pueden clasificarse como rígida, simple o semirrígida. [2]

Por lo general, las conexiones rígidas son de fabricación más costosa que las uniones simples debido a la complejidad de la soldadura y la mano de obra requerida, lo que se acentúa si las columnas son de perfiles *HSS*. El diseñador debe preferir el uso de uniones simples, y emplear las conexiones rígidas sólo en los lugares donde realmente sean necesarias. Existen diversas configuraciones de conexiones rígidas para la transferencia eficiente de momentos de vigas de perfiles I a columnas *HSS* cuyo principio es mecánicamente muy simple, tales como el uso de vigas continuas, placas pasantes o atiesadores internos. El problema de este tipo de configuraciones es que, para implementarlos, el perfil *HSS* debe de ser cortado en los planos por los cuales pasarán la viga o las placas, dependiendo el caso [3], o bien deben practicarse orificios muy grandes en sus paredes para poder soldar los atiesadores internos. Esto ocasiona que la columna pierda continuidad si es que las uniones no se realizaron correctamente, además, los tiempos de construcción pueden alargarse

debido a todas las maniobras necesarias para la construcción de cada conexión. Éste tipo de soluciones sólo son prácticas si se dispone de equipo robótico para soldar que asegure una buena unión o que permita soldar por la parte interior del tubo sin tener que cortarlo.

Recientemente se ha optado por utilizar una configuración que utiliza placas externas que rodean el perímetro de la columna para otorgarle una mayor rigidez a la conexión, tal y como se muestra en la imagen 2. El problema de este tipo de conexión es que, existe cierta incertidumbre en la distribución de esfuerzos en los elementos involucrados. Además, es posible que se presenten fallas locales en las paredes de la columna si el espesor de ésta es pequeño en comparación con su diámetro. Sin embargo, es una alternativa que no daña la integridad de la columna y su implementación puede ser relativamente sencilla, reduciéndose costos y tiempo de ejecución.

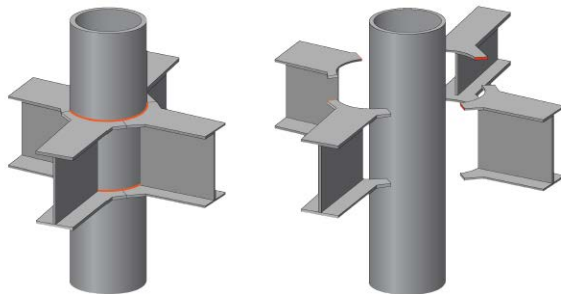


IMAGEN 2. Configuración de conexión empleando placas de unión que rigidizan las paredes de la columna.

Principales modos de falla

Dependiendo de la carga, tipo de unión y parámetros geométricos, las conexiones a HSS presentan varios modos de falla, tales como:

- Plastificación en la pared de la columna.
- Punzonamiento por cortante en la pared de la columna.
- Pandeo local de la columna.
- Falla a cortante de la columna

Si las soldaduras no son lo suficientemente fuertes, también pueden suceder fallas en la soldadura. [4]



IMAGEN 3. Fallas en perfiles HSS debido a sus delgadas paredes y una distribución no uniforme de esfuerzos. Packer, J. [5]

Debido a las ventajas que nos brinda el uso de perfiles HSS como columnas y a que en el país no es común el uso de tecnología moderna para el proceso de soldadura en las uniones, es importante conocer de manera precisa el comportamiento global estructural de la conexión. Utilizando métodos analíticos convencionales resulta extremadamente difícil determinar dicho comportamiento de manera certera.

En este trabajo de investigación se empleó el método de los elementos finitos (MEF) para realizar simulaciones numéricas de conexiones rígidas de vigas I a columnas tubulares huecas que utilizan placas externas que rodean el perímetro del perfil HSS, con el fin de conocer a detalle la distribución de esfuerzos en la conexión y averiguar si dicha configuración se garantiza un comportamiento global rígido de la conexión, evitando o reduciendo la posibilidad de falla local en la pared de la columna.

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Para llevar a cabo esta investigación, se emplearon varios programas de computadora.

Para preparar el modelo de elementos finitos se utilizó el software "GiD", desarrollado por el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Para el análisis propiamente dicho por este método, se utilizó el software "MEFI", desarrollado en el Aula CIMNE-UG de la Universidad de Guanajuato. Los resultados de dicho análisis se visualizan en GiD.

Además, se utilizó una versión educativa del software comercial "SAP2000" para comparar los resultados obtenidos por elementos finitos contra los que arroja un análisis estructural "tradicional" mediante modelos de barras. Se compararon las rotaciones globales de la conexión obtenidas por

elementos finitos, con las rotaciones del nodo obtenidas en el modelo de barras, aplicando a los elementos de la conexión las mismas fuerzas.

Procedimiento

Se realizaron cuatro modelos distintos de elementos finitos para comparar resultados. En todos se utilizó el mismo perfil de columna, pero cada uno estaba conectado a vigas con distinto peralte. En tres de ellos se emplearon atiesadores de la conexión con placas externas, mientras que el otro no hace uso de éstas, con el fin de conocer la razón de la importancia de la colocación de estas placas. Los perfiles utilizados en las vigas para estos modelos fueron los siguientes: IR 305x28.3, IR 406x38.8 (con y sin placas externas) e IR 457x59.6; el perfil de la columna es el OC 254x12.7. Las placas de conexión a momento también varían de espesor y ancho con base en la dimensión de los patines de la viga.

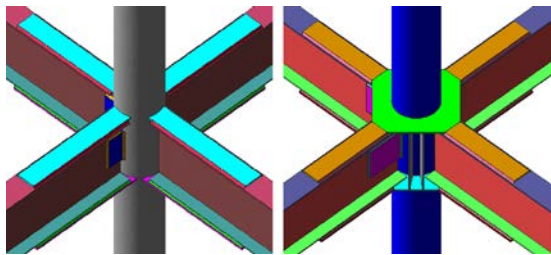


IMAGEN 4. Comparativa de la geometría del modelo. (izq. se muestra el modelo sin placas externas, a la der. mismo modelo, pero implementando dichas placas.)

Condiciones de contorno

Los apoyos del modelo se establecieron en las caras inferior y superior de la columna, dichas caras están restringidas a moverse en todas direcciones para simular un empotramiento. Las fuerzas se aplicaron sobre las superficies de los patines de las vigas para simular momentos flexionantes en la columna alrededor de sus dos ejes transversales. Dichos momentos fueron determinados mediante la revisión de los estados de límite de fluencia en las placas de unión a momento y en la trabe.

Con la información proporcionada en el pre-proceso, se realiza el análisis por el MEF utilizando el software "MEFI". Posteriormente, se realiza un análisis de los resultados visualizando gráficamente la distribución de esfuerzos en la

conexión, así como los desplazamientos de los nodos de los elementos finitos.

Para determinar la rotación en la conexión, se promediaron los desplazamientos de los nodos en la sección transversal de la columna a los niveles de las placas externas inferior y superior, teniendo la distancia entre ambas placas, resulta sencillo calcular el ángulo generado mediante triángulos semejantes.

Debido a que las secciones transversales de la columna tienden a adoptar formas elípticas al deformarse, se puede tomar la excentricidad de la elipse como un parámetro de la distorsión de la sección de la columna. Utilizando los desplazamientos de los nodos se pueden determinar las longitudes de los ejes de la elipse, y con esto, se calcula la excentricidad de la misma.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las rotaciones en la columna para las distintas configuraciones empleadas, y una comparación entre los resultados obtenidos por el MEF y el modelo de barras.

Tabla 1. Comparación de rotaciones (radianes)

Trabe	Modelo de barras	MEF	Diferencia	Porcentaje
IR 305x28	2.992E-03	3.084E-03	-9.11E-05	103.0%
IR 406x39	4.740E-03	4.425E-03	3.159E-04	93%
IR 406x39 (Sin Placas)	4.740E-03	4.510E-03	2.302E-04	95%
IR 457x60	7.693E-03	6.649E-03	1.044E-03	86%

El porcentaje mostrado en la tabla es la relación entre los resultados por el MEF y los resultados en el modelo de barras; si es mayor a 100% indicará que, en el modelo de elementos finitos, la rotación fue mayor. Se puede observar que, a menor peralte de viga, la rotación obtenida con el MEF se hace más grande en relación con los datos obtenidos en el modelo de barras, por lo que se debería prestar mayor atención cuando se utilicen vigas de peralte pequeño. Comparando las rotaciones entre las configuraciones con y sin

placas externas, no existe gran diferencia entre una y otra.

En el caso de las excentricidades de las elipses, se determinó una excentricidad por cada eje y a nivel de la placa superior e inferior.

Tabla 2. Excentricidades de las elipses formadas por las secciones deformadas

	IR 305x28	IR 406x39	IR 406x39 (Sin Placas)	IR 457x60
DespXS	1.997E-02	2.544E-02	4.364E-02	2.635E-02
DespXI	1.996E-02	2.460E-02	3.396E-02	2.559E-02
DespYS	1.999E-02	2.539E-02	4.360E-02	2.637E-02
DespYI	1.997E-02	2.460E-02	3.395E-02	2.561E-02

Cuánto más grande sea el peralte del perfil, la excentricidad se vuelve mayor, esto indica que aumenta la distorsión de la sección. Destaca que cuando las placas externas no están presentes, la excentricidad aumenta bastante, además, si se observa la distribución de esfuerzos con esta configuración, las concentraciones de esfuerzos en la columna son muy grandes.

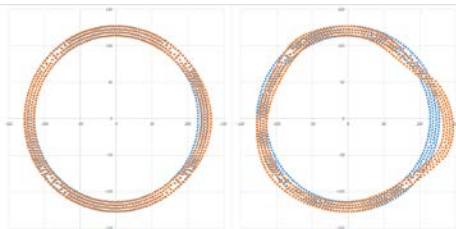


IMAGEN 6. Deformación de la sección transversal de la columna en la unión con las placas de momento, multiplicados por un factor de 75. (izq. Conexión con placas externas, der. Conexión sin placas externas)

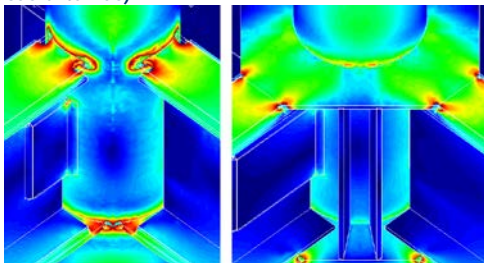


IMAGEN 7. Cambios en la distribución de esfuerzos al utilizar placas externas rigidizadoras. Nótese el incremento de las concentraciones de esfuerzos.

CONCLUSIONES

El uso de placas externas rigidiza en gran medida las paredes de la columna, evitando la distorsión de la sección transversal, y las concentraciones de esfuerzos en la conexión disminuyen mucho, lo que se traduce en un adecuado comportamiento estructural de la conexión frente a fallas locales y fallas frágiles. En cuanto al comportamiento global de la conexión, al parecer las placas externas no aportan mucha rigidez al nodo completo, ya que sólo se disminuye la rotación en 2% si son utilizadas.

Por el momento se puede afirmar que dicha configuración, en efecto, se comporta de manera rígida, y que las placas externas son muy útiles para asegurar la integridad estructural de la conexión, previniendo fallas frágiles. Es necesario experimentar con más modelos, a fin de investigar la influencia de variables tales como el espesor de la columna, el ancho de las placas externas, el tipo de soldadura entre las placas y la columna, etc., para tener mayor certeza en las conclusiones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece en gran medida la colaboración del M.C. Humberto Esqueda Oliva, por el apoyo y la asesoría brindada en la realización de éste trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] Kurobane, Y., Packer, J. A., Wardenier, J. & Yeomans, N. (2004). Guía de diseño para uniones a columnas de perfiles tubulares estructurales (1st ed.) Colonia, Alemania: Comité International pour le Développement et l'Étude de la Construction Tubulaire (CIDECT).
- [2] Vinnakota, S. (2006). Estructuras de acero, comportamiento y LRFD (1st ed.) Boston, EUA: McGraw-Hill.
- [3] Bull Moose Tube Company (2005). Manual de uniones de HSS de Bull Moose Tube. Versión 1.0. Recuperado de <http://www.bullmoosetube.com/references/documentation>.
- [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] Packer, 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.