

Nudos de vigas reticuladas con perfiles conformados en frío. Estudio preliminar.

Truss beams nodes with cold-formed sections. Preliminary study.

Presentación: Octubre 2023

Julián Ignacio Gelfuso

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe
juligelfuso@gmail.com

Maira Sosa

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe
maira.sosa27@hotmail.com

Resumen

Se trata de analizar una solución de vigas reticuladas utilizadas frecuentemente en construcciones de galpones de pequeña envergadura, que se ha popularizado entre los fabricantes de estructura más informales del medio. La viga se diseña con perfiles conformados en frío de sección C, altamente disponibles en el mercado. La particularidad de la estructura radica en el detalle de conexión entre las barras, dado que las diagonales se sueldan al labio rigidizador del cordón, resultando una solución muy compleja de evaluar con métodos tradicionales de análisis. El estudio se basa principalmente en utilizar modelos de elementos finitos de forma sistemática para diferentes soluciones, y realizar las correspondientes comparativas de resultados con ensayos representativos, a partir de modelos a escala. El resultado del proyecto servirá para confirmar la validez del sistema o para informar falencias, y generar recomendaciones considerando la reducción de las capacidades teóricas de estas vigas si fuera el caso.

Palabras clave: Vigas reticuladas, perfiles conformados en frío, conexión soldada, modelos de elementos finitos, ensayos reales.

Abstract

This article study a truss beam solution commonly used in small-span shed constructions, which has gained significant popularity among less formal structure manufacturers in the industry. The beam is designed using cold-formed C-section profiles, which are highly available in the market and come in various dimensions. The particularity of the structure it's bases on the detail of the conection between bars, because the diagonals are welded to the stiffeners lips of chords, result in a difficult solution to evaluate using traditional analysis methods. The outcome of the proyect would have a significant impact, because confirm the validity of the sistem or identify its shortcomings, providing recommendations about the reduction of the theoretical capacities of these beams, if applicable. The study is primarily based on systematically employing finite element models for different solutions and conducting corresponding result comparisons with real tests using scaled models that are as representative as possible.

Keywords: Truss beam, cold-formed C-section, welded conection, finite element models, real tests.

Introducción

El problema estructural del comportamiento de vigas del tipo reticulado está extensamente estudiado desde los orígenes de la estática gráfica y la posterior aparición de la resistencia de materiales. En general todas las teorías están centradas en lo que se denomina reticulado ideal, para el cuál se deben cumplir determinadas hipótesis en su concepción (las barras se encuentran en nudos, los nudos son articulaciones sin rozamiento, todas las barras son rectas y coplanares, las cargas y las barras están en un mismo plano, las cargas se ingresan por los nudos).

En reticulados de envergadura con cargas importantes y grandes luces, mantener las hipótesis del reticulado ideal son garantías de eficiencia de la estructura y de un correcto comportamiento de la misma, trabajando principalmente bajo sollicitaciones de tracción y compresión.

Para lograr el encuentro de las barras en los nudos teóricos como intersecciones de sus ejes baricéntricos, en general se debe recurrir al uso de elementos auxiliares de conexión, como son chapas o cartelas de nudo. Esto obviamente hace más complejo el proceso de fabricación y requiere de mayores recursos tecnológicos y humanos para realizar el trabajo de forma adecuada, es por ello que es bastante habitual en la práctica cotidiana el desvío de las hipótesis ideales de encuentro de las barras en los nudos de este tipo de vigas.

El problema que se plantea para este proyecto es por un lado el desvío de las hipótesis principales y que, además, utiliza una solución de conexión muy especial, ya que las uniones entre las diagonales y los cordones de las vigas son soldadas, tratando de aprovechar la geometría particular de las secciones tipo C de los perfiles conformados en frío.

A lo largo del proceso de investigación previo al inicio del proyecto se encontraron múltiples estudios acerca de vigas reticuladas a partir de perfiles conformados en frío ([Çagan Dizdar et al., 2019:437–457](#); [Malgorzata Gordziej Zagórska et al., 2020](#); [Viorel Ungureanu et al., 2021, etc.](#)), donde en todos estos casos las uniones son realizadas mediante bulones, debido a que es una solución que no implica mano de obra especializada, pero como contrapartida, se requiere de los equipos de control numérico en fábrica que se encargan de generar los agujeros correspondientes. Por otro lado, no se observaron trabajos de investigación relacionadas con vigas reticuladas soldadas de este tipo.

Metodología

El objetivo del presente proyecto de investigación es analizar el comportamiento del sistema de vigas reticuladas, que fue descrito anteriormente en la introducción, tal como se muestra en la Figura 1: Viga Reticulada con PFC - Unión soldada.



Figura 1: Viga Reticulada con PFC - Unión soldada

La metodología de investigación se basa principalmente en el uso de modelos de elementos finitos (métodos numéricos), que posteriormente se comparan con los resultados de ensayos reales a escala.

Para el análisis se plantea inicialmente el uso de dos softwares de elementos finitos de características diferentes. [IDEA StatiCa](#) (Versión 22) y [SimSolid](#) (Versión 22.2.1). Ambos softwares permiten trabajar con no linealidad del material, con la diferencia que el primero se basa en CBFEM (Component-Based Finit Element Method) para analizar una conexión en particular entre barras de la estructura de acero y el segundo permite el modelado completo de la estructura mediante elementos finitos de placas.

En el proceso de verificación de los resultados obtenidos a partir de las simulaciones numéricas, se plantea un modelo tipo “T” que permite realizar un ensayo de carga de forma simple, tanto en cuestiones de materialización como de

transmisión o aplicación de los esfuerzos. Este modelo consiste en unir los PFC soldados a 90° entre el ala de un perfil y el labio rigidizador del otro (Figura 2: Unión tipo T soldada - Perfiles Conformados en Frío, sección C).

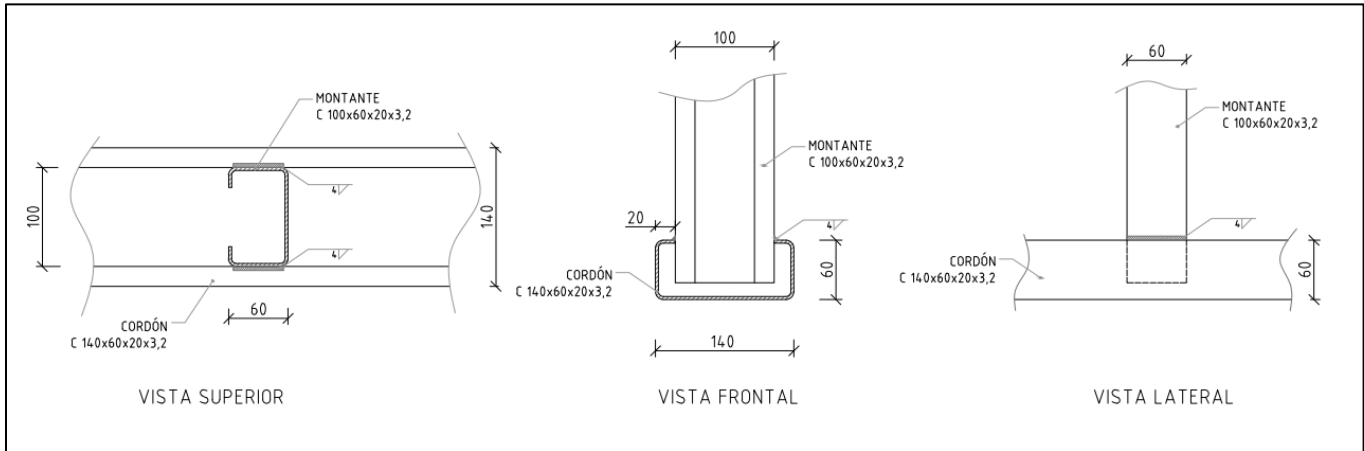


Figura 2: Unión tipo T soldada - Perfiles Conformados en Frío, sección C

a. Modelo numérico

Como se mencionó anteriormente, se modelaron las probetas tipo “T” en ambos softwares, con el fin de analizar el comportamiento y diferencias entre ellos.

A continuación, se puede observar cada uno de los modelos generados en la siguiente Figura 4: Modelo IDEASTatiCa - Versión 22 y Figura 3: Modelo SimSolid - Versión 22.2.1.

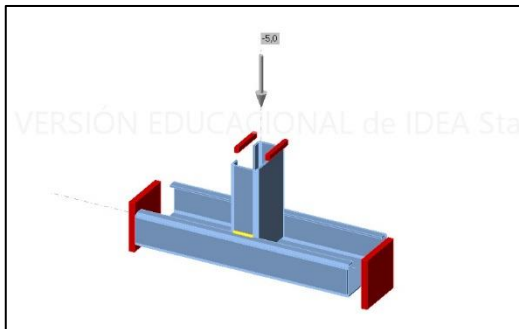


Figura 4: Modelo IDEASTatiCa - Versión 22

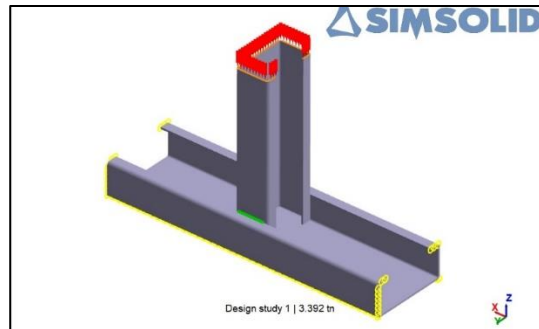


Figura 3: Modelo SimSolid - Versión 22.2.1

b. Ensayo real a escala

- Probetas

Para esta etapa se materializaron tres probetas tipo T con PCF, unidas mediante soldadura tal como se explicó en el apartado anterior, y como se observa en la Figura 6: Error! Reference source not found. y la Figura 6: Soldadura – probeta “T”.

Las medidas de perfiles y soldaduras se muestran a continuación en la Tabla 1: Medidas de Probetas tipo T.

Probeta N°	Alma – Cordon [mm]	Alma – Montante [mm]	Ala – Cordon y Montante [mm]	Labio rigidizador – Cordon y Montante [mm]	Espesor – Cordon y Montante [mm]	Cateto Soldadura [mm]
1	140	100	60	20	3,2	6,0
2	140	100	60	20	3,2	4,0

3 140 100 60 20 3,2 4,5

Tabla 1: Medidas de Probetas tipo T

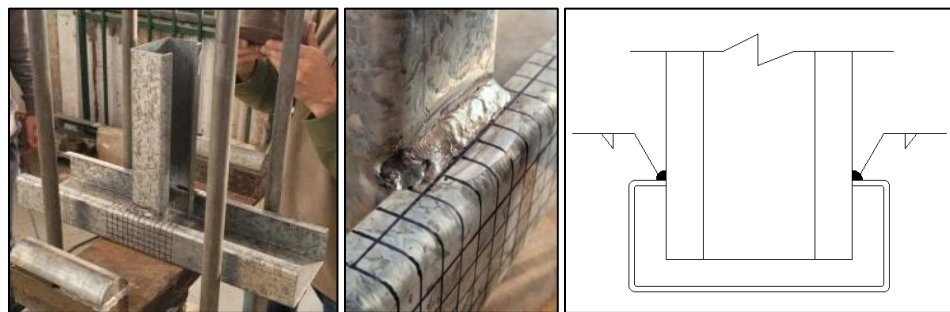


Figura 6: Probeta tipo T – Modelo de estudio real

Figura 5: Soldadura – probeta “T”

Se observa que las soldaduras (Figura 6: Soldadura – probeta “T”) difieren en cuanto a medidas en las tres probetas, lo que es fundamental para diferenciarlas entre sí, dado que resulta de interés para los resultados del ensayo y puede variar según quién y en qué condiciones se las realiza.

- Ensayo

Las probetas se ensayaron a compresión utilizando una prensa hidráulica manual en el marco del Laboratorio de grandes estructuras de la UTN - Regional Santa Fe. Se posicionó la probeta de manera que la aplicación de carga sea representativa respecto a lo que se modeló en ambos softwares.

Una vez colocada la misma, se registró la deformación inicial con comparadores ubicados a cada lado de la probeta (izquierda y derecha). Esto puede observarse en la Figura 7: Prensa hidráulica manual y comparadores.



Figura 7: Prensa hidráulica manual y comparadores

El ensayo comienza cuando se gira manualmente una manivela mediante la cual se introduce una carga al montante, de manera que este comienza a comprimirse. La aplicación de la misma se realizó en escalones de carga correspondientes a una deformación vertical de 0.1mm, donde en ese instante se detiene la manivela y se realiza la lectura de ambos comparadores, obteniendo el valor de la carga que produce tal descenso.

El procedimiento anterior se realiza reiteradas veces hasta visualizar que las deformaciones aumentan prácticamente sin lograr incrementos de carga, lo que indica que se llega a la plastificación de la sección.

Finalmente, una vez que se llega al límite de carga considerada sin producirse la rotura, se procede a la descarga completa de la probeta, registrándose las deformaciones residuales (plásticas) que presentan cada una de estas.

Resultados y discusión

a. Modelos numéricos

Se carga el modelo hasta llegar a la plastificación de la sección, resultando la distribución de tensiones observada en las Figura 8: Distribución de tensiones – IDEA StatiCa y Figura 9: Distribución de tensiones - SimSolid respectivamente.

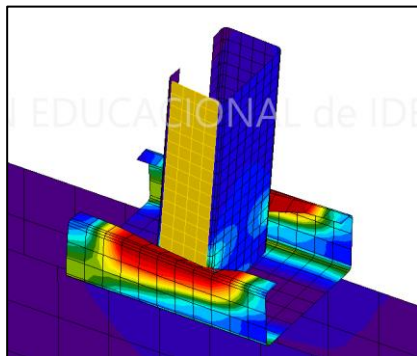


Figura 8: Distribución de tensiones – IDEA StatiCa

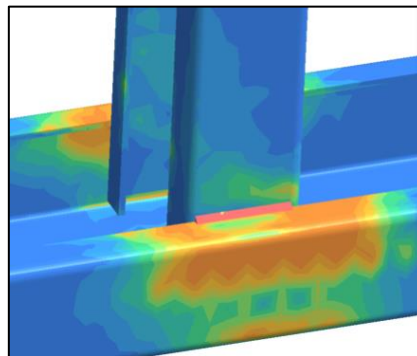


Figura 9: Distribución de tensiones - SimSolid

Además, se obtiene un gráfico de Carga - deformación, según el modelo de cada software. Estos pueden visualizarse en la Figura 11: Gráfico carga-deformación. Resultados de modelos y ensayo - Comparativa , observándose también sus diferencias.

b. Ensayo

De los ensayos, mediante el promedio de las lecturas de ambos comparadores (izquierda y derecha) y el valor de la carga en cada escalón, se obtienen las curvas carga-deformación correspondientes a las tres probetas.

A continuación, se representan los resultados en una misma grafica como se observa en la Figura 11: Gráfico carga-deformación. Resultados de modelos y ensayo - Comparativa



Figura 10: Deformación en probeta "T" luego del ensayo a compresión

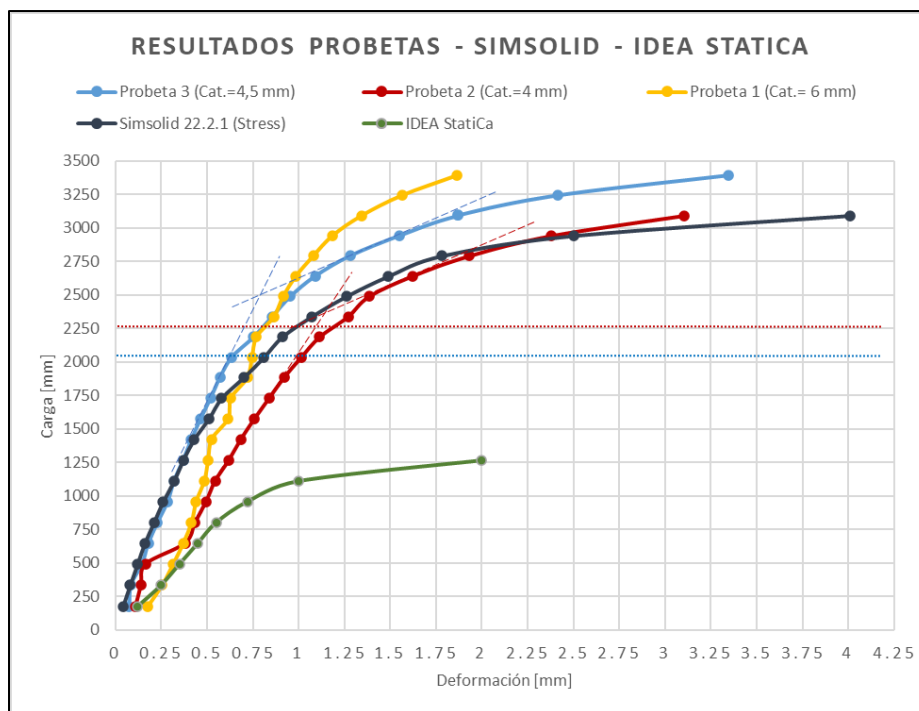


Figura 11: Gráfico carga-deformación. Resultados de modelos y ensayo - Comparativa

c. Comparativa de resultados y comentarios

Luego de concluidos los ensayos de compresión, se distinguen los resultados en cuanto a cargas y deformaciones. En lo que respecta a la capacidad de carga de la probeta, se observa una clara similitud entre las tres, destacando una clara inflexión en las curvas en valores que rondan los 2000-2250kgf. En cuanto a deformaciones, si bien el orden de estas es del milímetro, resultan mucho menores en la primera probeta. Esto se atribuye principalmente al tamaño del cateto de soldadura, ya que al incrementar el mismo se logra una mayor rigidez de la conexión y por ende del sistema.

Conclusiones

- De los dos softwares utilizados, Simsolid se aproxima mejor a los resultados obtenidos de los ensayos.
- Lo anterior permitirá avanzar con el proyecto mediante el modelado de vigas reticuladas completas.
- Se analizará más detalladamente en un futuro, la incidencia de las dimensiones de los catetos de soldadura.
- La intención es comparar la capacidad de carga obtenida con el modelo del nudo con la capacidad teórica de la barra comprimida para evaluar cuál es el estado límite que gobierna el diseño.

Referencias bibliográficas

D.H. Bondok, H.A. Salim (2017). Failure capacities of cold-formed steel roof trusses end-connections. *Thin-Walled Structures* 121 (2017) 57–66

Malgorzata Gordziej Zagórowska, Elzbieta Urbanska Galewska, Patryk Deniziak (2020). Experimental investigation of joint with positive eccentricity in CFS truss. *Thin-Walled Structures*. Volume 157, diciembre 2020, 106998.

Çagan Dizdar, Eray Baran, Cem Topkaya (2019). Strength and stiffness of floor trusses fabricated from cold-formed steel lipped channels. *Engineering Structures* 181 (2019) 437–457.

Viorel Ungureanu, Ioan Both, Mircea Burca, Bogdan Radu, Calin Neagu, Dan Dubina (2021). Experimental and numerical investigations on built-up cold-formed steel beams using resistance spot welding. *Thin-Walled Structures*. Volume 161, abril 2021, 107456.