

CIENCIAMATRIA

Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología

Año VIII. Vol. VIII. Nro. 3. Edición Especial 3. 2022

Hecho el depósito de ley: FA2021000002

ISSN-L: 2542-3029; ISSN: 2610-802X

Instituto de Investigación y Estudios Avanzados Koinonía (IIEAK). Santa Ana de Coro. Venezuela

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

[DOI 10.35381/cm.v8i3.950](https://doi.org/10.35381/cm.v8i3.950)

Análisis de la capacidad de rotación de uniones metálicas soldadas con perfiles tubulares

Analysis of the rotation capacity of steel joints welded with tubular profiles

Diego Josué López-Salamea

diego.lopez.97@est.ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Cuenca
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-9207-0393>

Juan Sebastián Maldonado-Noboa

jmaldonadon@ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Cuenca
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-5329-2201>

Recibido: 15 de agosto 2022

Revisado: 01 de octubre 2022

Aprobado: 15 de noviembre 2022

Publicado: 01 de diciembre 2022

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

RESUMEN

En Ecuador la mayoría de viviendas unifamiliares construidas con estructuras de acero, son conformadas mediante perfiles tubulares. No existe una unión precalificada según la normativa AISC para esta tipología por lo que esta investigación se enfoca en modelar y analizar la capacidad de rotación de la conexión viga-columna. Se ha generado un modelo con elementos finitos en el software ABAQUS, a partir del cual se ha obtenido el diagrama de momento curvatura y la capacidad de rotación de la conexión. Se ha encontrado que el momento flector aplicado en la cara de la columna es menor al 80% del momento plástico de la viga, la capacidad de rotación es de 0.002 rad y se determinó que la cara de la columna en contacto con la viga se plastifica lo que impide que la viga desarrolle su momento plástico, por lo que la conexión presenta un bajo desempeño ante condiciones sísmicas.

Descriptor: Construcción de viviendas; Diseño de vivienda; Diseño estructural. (Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

In Ecuador, the majority of single-family homes built with steel structures are formed by tubular profiles. There is no prequalified connection according to the AISC regulations for this typology, so this research focuses on modeling and analyzing the rotation capacity of the beam-column connection. A model with finite elements has been generated in the ABAQUS software, from which the curvature moment diagram and the rotation capacity of the connection have been obtained. It has been found that the bending moment applied to the face of the column is less than 80% of the plastic moment of the beam, the rotation capacity is 0.002 rad and it was determined that the face of the column in contact with the beam plasticizes. which prevents the beam from developing its plastic moment, so the connection presents a low performance under seismic conditions.

Descriptors: Housing construction; housing design; structural design. (UNESCO Thesaurus).

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

INTRODUCCIÓN

En lo que se refiere a la construcción de edificaciones y gracias a los avances tecnológicos constructivos, las estructuras metálicas han ido tomando protagonismo en este campo, pues se conoce de las grandes ventajas que presenta al momento de diseñar, montar y construir un proyecto con estructuras de acero; por lo que al definir la tipología de cualquier estructura se toma en consideración la optimización de recursos, tales como, el ahorro de tiempo en el montaje de la estructura, disminución de mano de obra, la durabilidad del material, gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conexión simple, como son la soldadura y los pernos (McCormac & Csernak, 2012).

Dentro de las ventajas más importantes del acero estructural como material utilizado en la construcción se puede definir que posee gran capacidad elástica por lo que antes de llegar a producirse un colapso se producen diferentes deformaciones visibles, las mismas que alertan de una posible falla estructural, también se puede conseguir gran resistencia con elementos estructurales de secciones pequeñas (Jiménez, 1998). Por ello es que en la actualidad a nivel mundial se pueden observar con mayor frecuencia edificaciones, puentes, torres, viviendas y demás proyectos elaborados con estructuras metálicas las mismas que cumplen con estrictos controles para el cumplimiento de la normativa vigente.

Una parte importante del uso del acero como material estructural se encuentra la construcción de edificaciones mediante el sistema estructural de pórticos resistentes a momento. Esta tipología se basa en una distribución de vigas y columnas conectadas entre sí mediante pernos o procesos de soldadura (Crisafulli, 2018), tal como se muestra en la ilustración 1.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

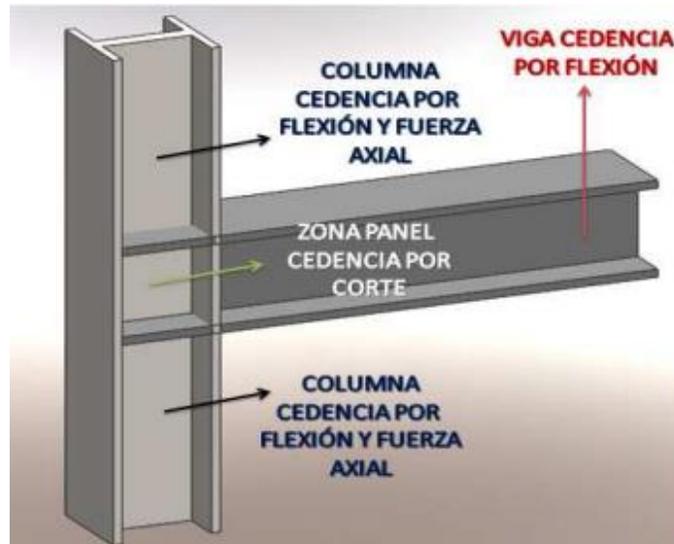


Ilustración 1. Elementos estructurales de pórticos resistentes a momento de estructuras de acero.

Las mencionadas conexiones entre viga y columna resultan ser uno de los aspectos relevantes para el correcto funcionamiento de la estructura debido a que son el elemento que garantiza que la viga se encuentre sometida a flexión de manera que pueda deformarse y entrar dentro del campo plástico formando una rotula plástica (Takeuchi, 2007). Además, la conexión viga-columna es la zona encargada de transmitir las cargas sísmicas y gravitacionales, de ser mecanismos de disipación de energía, además de proporcionar un correcto comportamiento de la estructura (Loges, 2017).

A lo largo del tiempo, en base a eventos sísmicos presentados y mediante la investigación científica se ha venido desarrollando la precalificación de conexiones metálicas, es decir que mediante normativa se exponen varios tipos de uniones viga-columna que se permiten utilizar en edificaciones con pórticos resistentes a momentos bajo condiciones sísmicas, las mismas que han sido analizadas mediante rigurosas pruebas de laboratorio dando como resultado un correcto comportamiento ante la acción sísmica y precautelando la seguridad estructural de las edificaciones (Brotóns, 2010).

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

En la normativa American Institute Of Steel Construction 358-16, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frame for Seismic Applications (AISC, 2016) se presentan 10 diferentes tipos de conexiones que han sido precalificadas, analizadas y ensayadas en laboratorio por lo que se conoce su comportamiento real lo que permite realizar su correcto dimensionamiento y caracterización dentro del diseño de estructuras de acero sismoresistente.

En lo que respecta a las conexiones metálicas viga-columna, según el AISC 360-16 se pueden clasificar mediante el diagrama de momento – rotación de la unión, tal como se muestra en la ilustración 2. Teniendo a conexiones totalmente rígidas (FR) que se caracterizan por tener una rotación relativamente despreciable, conexiones parcialmente restringidas (PR) en donde son capaces de transmitir momento sin despreciar la rotación de los elementos conectados y las conexiones simples en donde su capacidad de transmitir momento es despreciable (AISC, 2016).

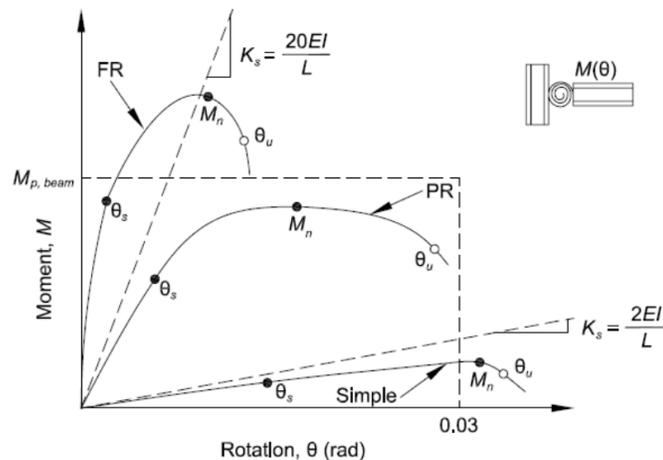


Ilustración 2. Diagramas momento-rotación típico de conexiones FR, PR y simples.

Dentro de la normativa American Institute Of Steel Construction 341-16, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings (AISC, 2016), se presentan los criterios requeridos para determinar que una conexión de acero viga-columna es clasificada como rígida o parcialmente restringida por lo que puede ser usada en una estructura de pórticos

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

resistentes a momento bajo efectos de cargas sísmicas. Los criterios de mayor importancia son la capacidad de rotación, el diagrama de momento curvatura de la conexión y el desarrollo del momento plástico en la viga, de manera que este elemento entre a trabajar dentro del rango plástico dando lugar a la formación de una rotula plástica (Torres Torres & Cruz Hernandez, 2012).

En lo que se refiere a la capacidad de rotación de la conexión viga columna debe tener un valor de al menos 0.03 rad; en el diagrama de momento curvatura se tiene que evidenciar que el momento flector de la conexión viga-columna es mayor al 80% del momento plástico de la viga cuando entra en el rango plástico de la curva.

En el Ecuador se ha podido evidenciar un creciente uso de estructuras metálicas en varios campos de la construcción. Lo que se ve reflejado en un crecimiento del 76% en la utilización de estructuras metálicas a nivel nacional con relación del año 2016 al 2018 (INECI, 2016) - (INECI, 2018). Sin embargo, la mayor problemática que aqueja a este país es la inobservancia tanto de la normativa vigente como los procesos técnicos constructivos precalificados. Una clara evidencia de ello fue la deficiente respuesta y comportamiento de algunas estructuras frente al movimiento telúrico suscitado en el año 2016 en la provincia de Manabí.

Dentro de las investigaciones de este acontecimiento los peritos encargados señalaron que el desplome de estructuras ocurrió por falta de técnica en las construcciones o deficiencias en materia constructivas (Universo, 2016). Por otro lado, los permisos de construcción son competencia de cada Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal, por lo que cada uno tiene diferentes exigencias para la intervención de un ingeniero estructural. Teniendo en cuenta que solo es para el estudio en planos, mas no en la supervisión de la construcción (Zibeli, 2016). Si en la actualidad se busca que cada vivienda unifamiliar en el Ecuador sea segura (Senplades, 2017); la negligencia que se comete al diseñar y construir estructuras metálicas, no permite garantizar la seguridad de

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

sus habitantes frente a un evento sísmico debido a que se puede llegar a omitir criterios de vital importancia como el diseño y montaje de conexiones viga-columna.

En lo que se refiere a viviendas unifamiliares conformadas por estructuras metálicas, en el Ecuador su gran mayoría no están basadas en un diseño estructural, pero son conformadas mediante un sistema de pórticos resistentes a momento con la utilización de perfiles tubulares, los cuales comúnmente son armados con la unión de dos perfiles G, tal como se muestra en la ilustración 3.

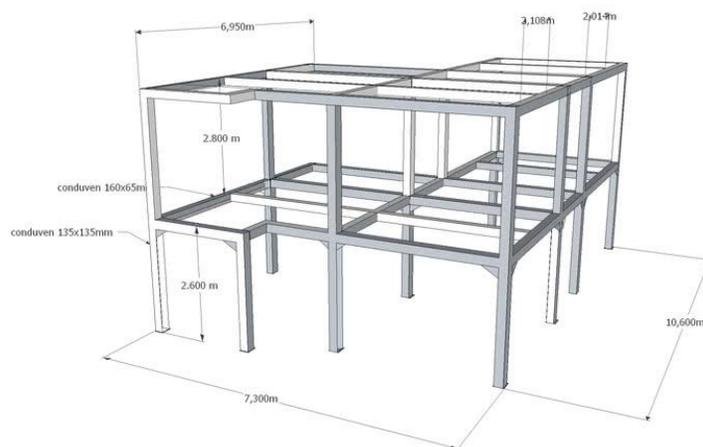


Ilustración 3. Vivienda unifamiliar tipo.

Para la unión de los perfiles tubulares se requiere de una conexión rígida o parcialmente restringida debido a que estos elementos forman parte de los pórticos resistentes a momento; en este caso se utiliza una unión simple soldada (INEC, 2019) pero, es una unión que no ha sido analizada o precalificada para determinar sus condiciones de uso y definir su comportamiento frente a cargas sísmicas.

Debido a esto la presente investigación tiene como objetivo principal analizar la capacidad de rotación de las uniones soldadas con perfiles tubulares; mediante el modelamiento de elementos finitos de la conexión viga columna en el software ABAQUS

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

con el fin de generar el diagrama momento – curvatura y de esta manera determinar el comportamiento de la unión frente a la acción de cargas sísmicas.

METODOLOGÍA

En este estudio se presenta el análisis no lineal de una conexión soldada viga-columna conformada con perfiles tubulares usados comúnmente en el Ecuador en estructuras de viviendas unifamiliares para determinar la capacidad de rotación de la unión. El análisis se realizó mediante la utilización de un software de elementos finitos ABAQUS, en donde se elaboró un modelo tridimensional que involucra a cada uno de los elementos que conforman la conexión de acero, tal como se presenta en la ilustración 4. En lo que se refiere a la soldadura se idealizó una conexión soldada de filete en todo el contorno de la viga con una altura W de 5 mm acorde a la normativa AWS D1.1 2010. Cabe recalcar que se utilizó el sistema internacional para las unidades.

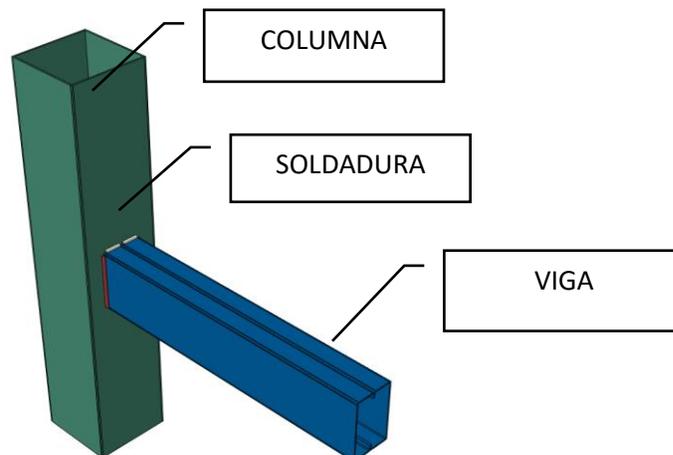


Ilustración 4. Modelo de elementos finitos generado en el software ABAQUS.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

En la tabla 1, se presentan las secciones consideradas para la unión, el tipo de soldadura utilizado y cada uno de los materiales utilizados con sus respectivas especificaciones requeridas para definir las propiedades elásticas y plásticas de los elementos en modelo del software ABAQUS.

TABLA 1.
Elementos y materiales considerados para el análisis de la conexión metálica.

<i>ELEMENTO</i>	<i>SECCIÓN</i>	<i>MATERIAL</i>	<i>ESPECIFICACIONES</i>
<i>Viga</i>	2G150x100x15x3	Acero ASTM A36	Fy=250 MPa; Fu=400MPa
<i>Columna</i>	Tubo 200x200x4	Acero ASTM A36	Fy=250 MPa; Fu=400MPa
<i>Soldadura</i>	W=5mm	Suelda: e-6011	Fy=440 MPa; Fu=520MPa

En la ilustración 5, se muestra un esquema del ensayo de laboratorio que se representó mediante el modelo de elementos finitos, consiste en la aplicación de una carga monotónica al extremo libre de la viga, para la columna se restringe su movimiento en todas las direcciones de manera que la cara de la columna que está en contacto con la viga sea en donde se generen los momentos flectores; cabe recalcar que se ha demostrado que el modelamiento mediante elemento finitos genera resultados semejantes a los obtenidos en el modelamiento físico (Jaramillo de León, et al., 2018).

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

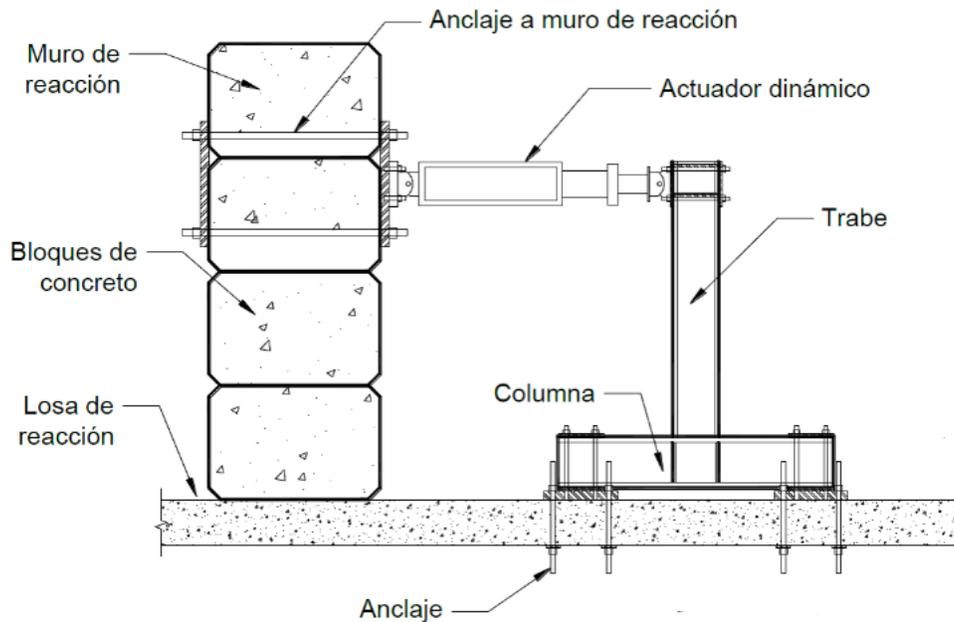
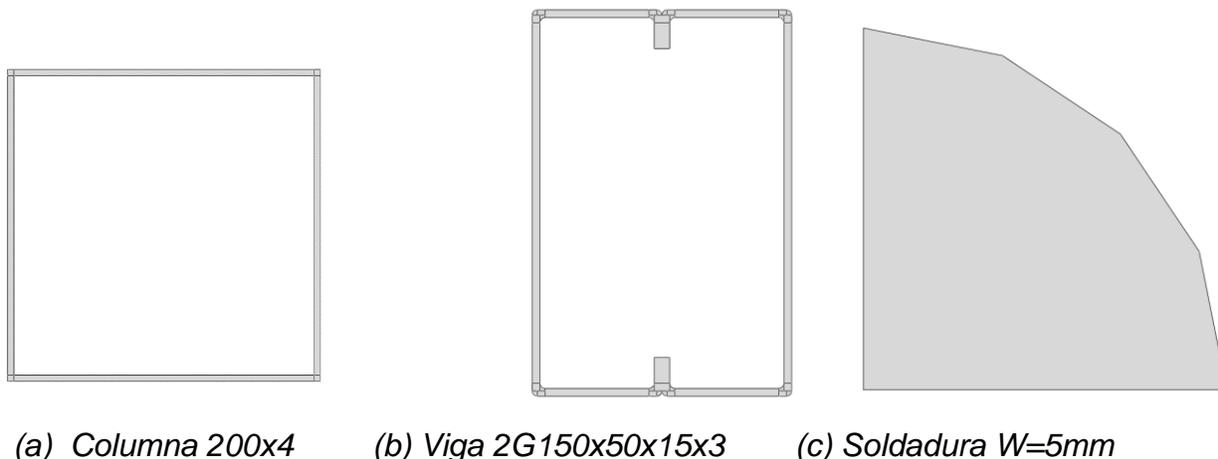


Ilustración 5. Esquema del ensayo físico de laboratorio mediante carga monotónica.

Para iniciar con el modelado se crearon las secciones a utilizar en la conexión y la geometría de la soldadura tal como se muestra en la ilustración 6; para la viga se tomó en cuenta las curvaturas de las esquinas de los perfiles G que se consideraron en el modelo.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa



(a) Columna 200x4

(b) Viga 2G150x50x15x3

(c) Soldadura $W=5\text{mm}$

Ilustración 6 (a) – (b) – (c). Secciones transversales de elementos utilizados en el modelo de elementos finitos en ABAQUS.

Posterior a ello se definieron y se asignaron los materiales tanto del acero A36 como de la soldadura e-6011 para cada uno de los elementos que conforman la conexión. Después se ensamblaron cada una de las partes que constituyen la unión de manera que se conformó geométricamente la conexión, es decir se puso en contacto la cara de la columna con la sección transversal de la viga y los cordones de soldadura se dispusieron de modo que rodearon el contorno de la viga teniendo contacto tanto en la columna como en la superficie externa de la viga, tal como se puede apreciar en la ilustración 7.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

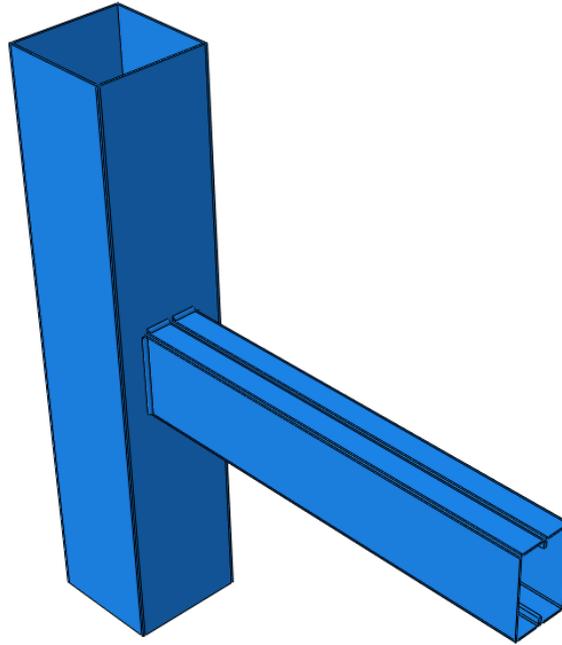


Ilustración 7. Ensamblaje de cada una de las partes de la conexión viga-columna.

Una configuración importante del modelo de elementos finitos es la creación del estado de análisis, ya que en este apartado se selecciona el tipo de análisis que se va a realizar, el tiempo de ejecución y los límites superior e inferior para cada uno de los pasos de incremento de carga. En la ilustración 8 se presenta los datos considerados para este caso; se utilizó un procedimiento de carga estática general en un rango de tiempo de 1 segundo con un incremento máximo de 10000 dentro de un tamaño de incrementos no mayor a 0.01.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

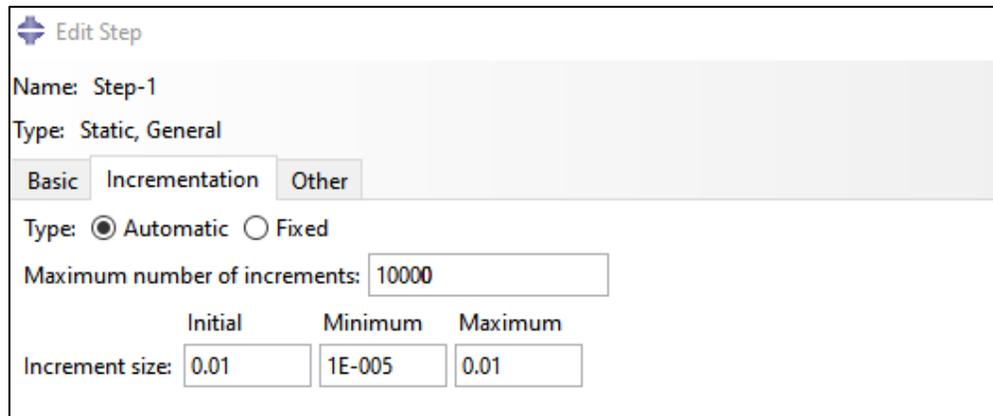


Ilustración 8. Definición del estado de análisis y su configuración de entrada.

En lo que se refiere a la interacción de cada uno de los elementos; para la cara de la columna en contacto con la sección transversal de la viga se definió mediante un contacto de fricción, ilustración 9. Para la interacción de la soldadura con la cara de columna y la superficie externa de la viga, se utilizó la herramienta “Tie” del software ABAQUS que representa a la fusión entre la soldadura y sus elementos, ilustración 10 y 11.

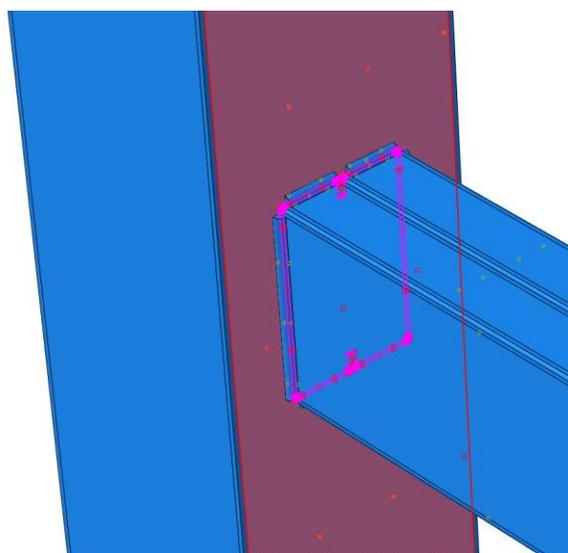


Ilustración 9. Interacción viga-columna mediante fricción.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

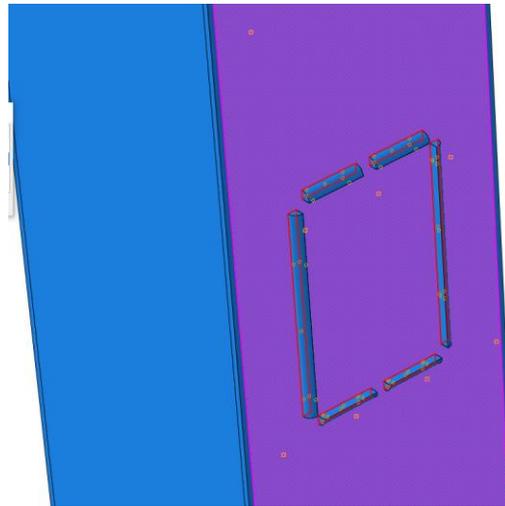


Ilustración 10. Interacción de la cara de la columna con la soldadura.

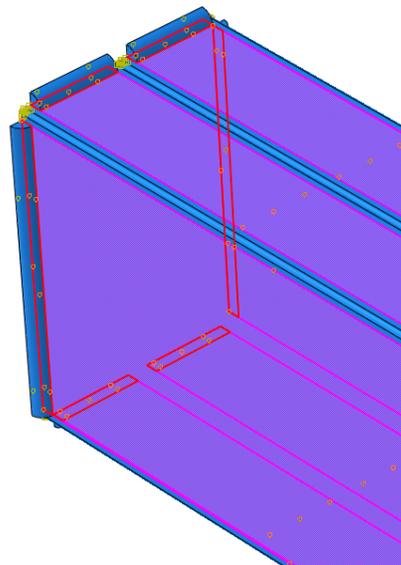


Ilustración 11. Interacción de la superficie exterior de la viga con la soldadura.

Para que los resultados del análisis sean confiables y lo más cercanos al comportamiento real, se requirió que cada elemento que conforma la unión sea mallado de manera que cada uno de sus elementos finitos sean lo más aproximado a una figura regular rectangular tal como se presenta en la ilustración 12.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

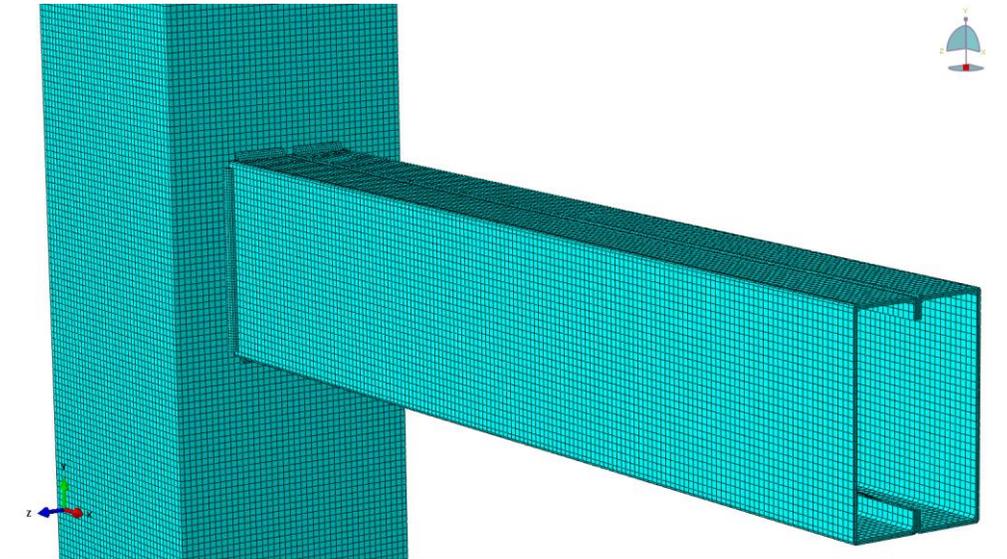


Ilustración 12. Mallado de elementos que conforman la conexión sometida al análisis.

Por último, se definió las condiciones de contorno para que el modelo represente efectivamente el comportamiento de una conexión soldada con perfiles tubulares mediante la acción de cargas sísmicas. Para la columna se restringió el movimiento y la rotación de cada uno de sus extremos libres, ilustración 13. En el extremo libre de la viga se aplicó la carga monotónica, la cual es representada mediante un desplazamiento hacia abajo, el cual ira incrementando su magnitud en el tiempo, según el estado de análisis definido anteriormente, hasta llegar a un desplazamiento máximo de 200 mm impuesto por el usuario.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

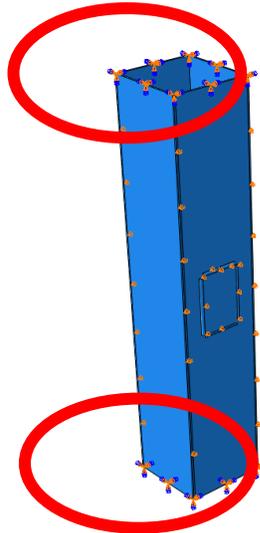


Ilustración 13. Restricción de desplazamiento y rotación en la parte superior e inferior de la columna.

De manera adicional se restringió el desplazamiento lateral de todos los elementos, con el objetivo de generar un análisis dentro de un mismo plano y en una sola dirección.

Dentro de la caracterización de la conexión viga – columna según el AISC 341-16 para que una conexión metálica se considere rígida el momento flector en la cara de la columna debe ser superior al 80% del momento plástico de la viga (M_{prb}) y tener una capacidad de rotación de 0.04 rad y para ser considerada como una conexión parcialmente rígida el momento flector en la cara de la columna debe ser superior al 80% del momento plástico de la viga (M_{pr}) y tener una capacidad de rotación de 0.02 rad. Para ello se determinó el momento plástico probable de la viga, que según el AISC 358-16 resulta de la ecuación (1) dando como resultado el **$M_{pr}=33841800$ Mpa.**

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

$$M_{pr}=(C_{pr})(R_y)(Z_b)(F_y)$$

(1) Ecuación para determinar el momento probable

En donde:

$$C_{pr}=1.2$$

$$R_y=1.5$$

$$Z_b=75204 \text{ mm}^3$$

$$F_y=250 \text{ Mpa}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizado el modelo se procedió a la corrida y se obtiene el modelo tridimensional de la unión viga columna deformada con los esfuerzos generados, tal como se presenta en la ilustración 5.

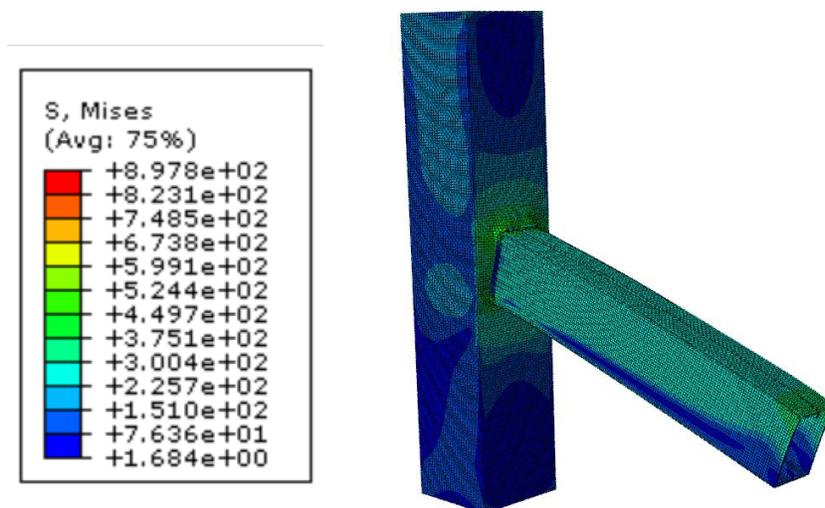


Ilustración 14. Modelo generado en ABAQUS con los esfuerzos de la conexión viga – columna.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

Para determinar el diagrama de momento curvatura es necesario extraer del modelo de elementos finitos los desplazamientos generados a lo largo del periodo del tiempo tanto en la parte superior de la sección transversal de la viga que está en contacto con la columna como la parte inferior, en la ilustración 16 se encuentra el modelo en tercera dimensión que representa estos desplazamientos y en la ilustración 17 la respectiva gráfica.

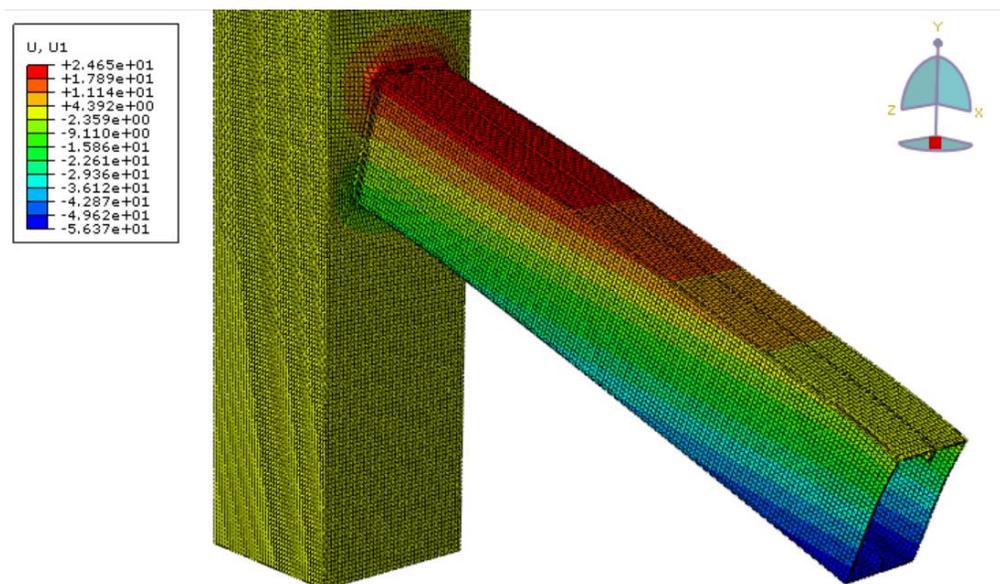


Ilustración 15. Desplazamientos en el sentido del eje x de la viga.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

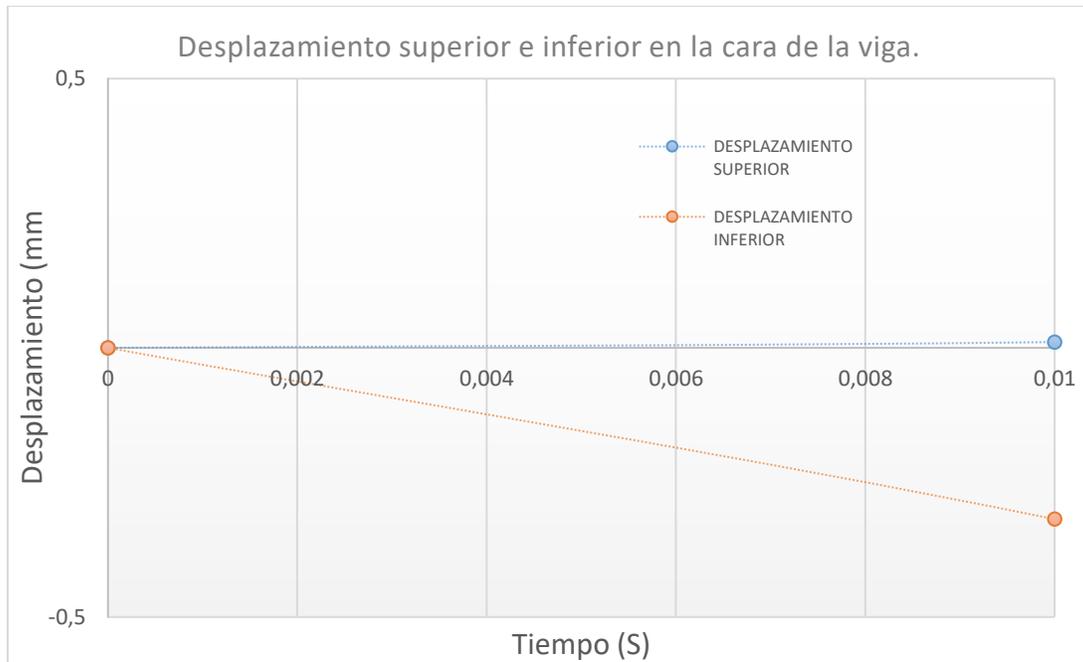


Ilustración 16. Grafica de los desplazamiento en el sentido del eje x de la cara de la viga.

Además, para determinar el momento flector producido por el desplazamiento aplicado en el extremo libre de la viga, se extrae la fuerza generada en la cara de la columna que está en contacto de la viga a lo largo del periodo de tiempo.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

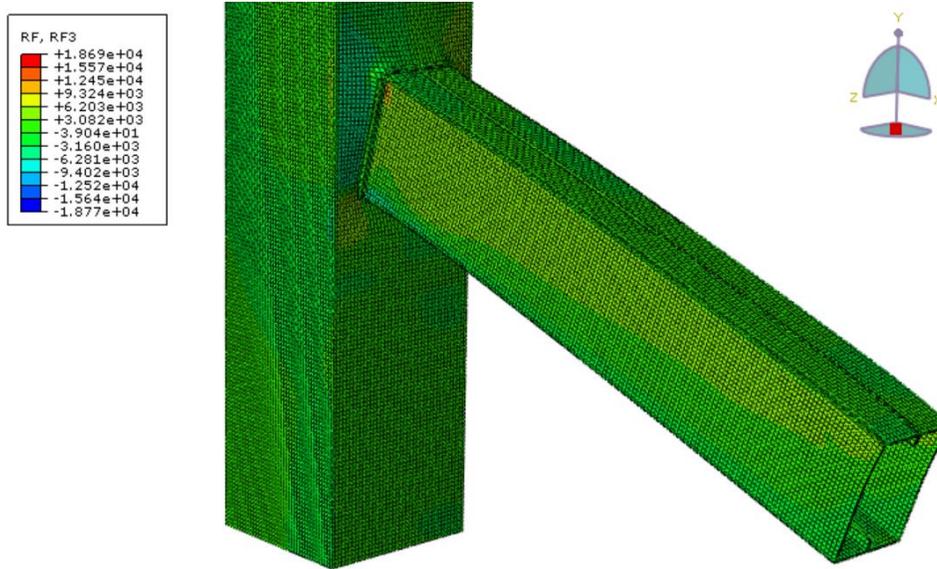


Ilustración 17. Fuerza generada a lo largo del periodo de tiempo en la cara de la columna que esta en contacto con la viga.

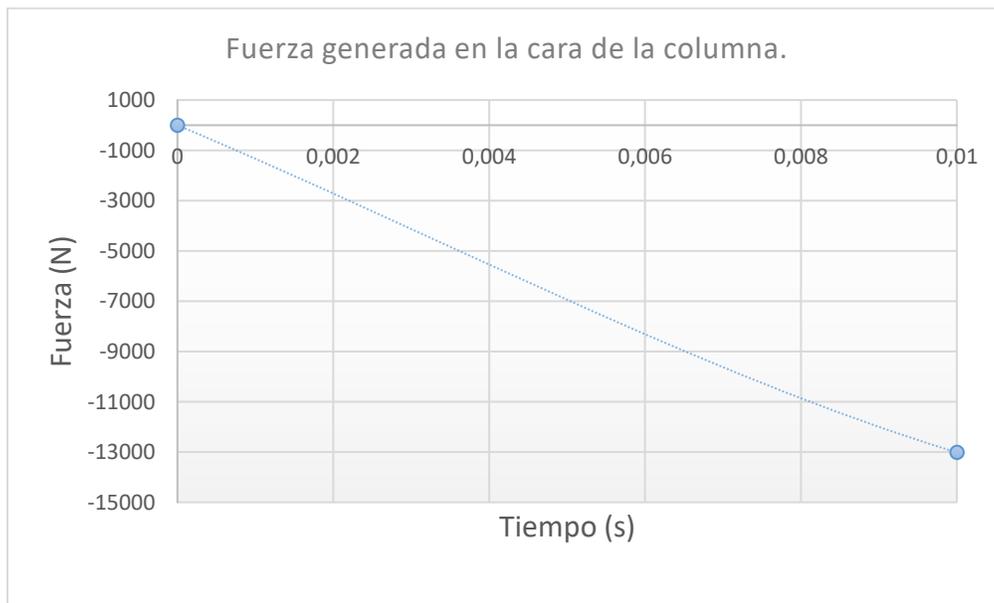


Ilustración 18. Fuerza generada a lo largo del periodo de tiempo en la cara de la columna que esta en contacto con la viga.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

Con los desplazamientos en la cara de la sección transversal de la viga es posible determinar las rotaciones que la conexión viga-columna genera a lo largo del periodo de tiempo al igual que con las fuerzas es posible determinar los momentos aplicados en la cara de la columna que está en contacto con la viga dentro del mismo periodo de tiempo. Por lo que en la ilustración 19 se presenta el diagrama de momento curvatura de la conexión planteada con perfiles tubulares. Adicionalmente, a la gráfica se le añadió el límite del 80% Mpr de la viga, debido a que, como se mencionó anteriormente, para ser una conexión admisible como rígida o parcialmente restringida el momento flector generado en la cara de la columna debe ser superior a este límite.

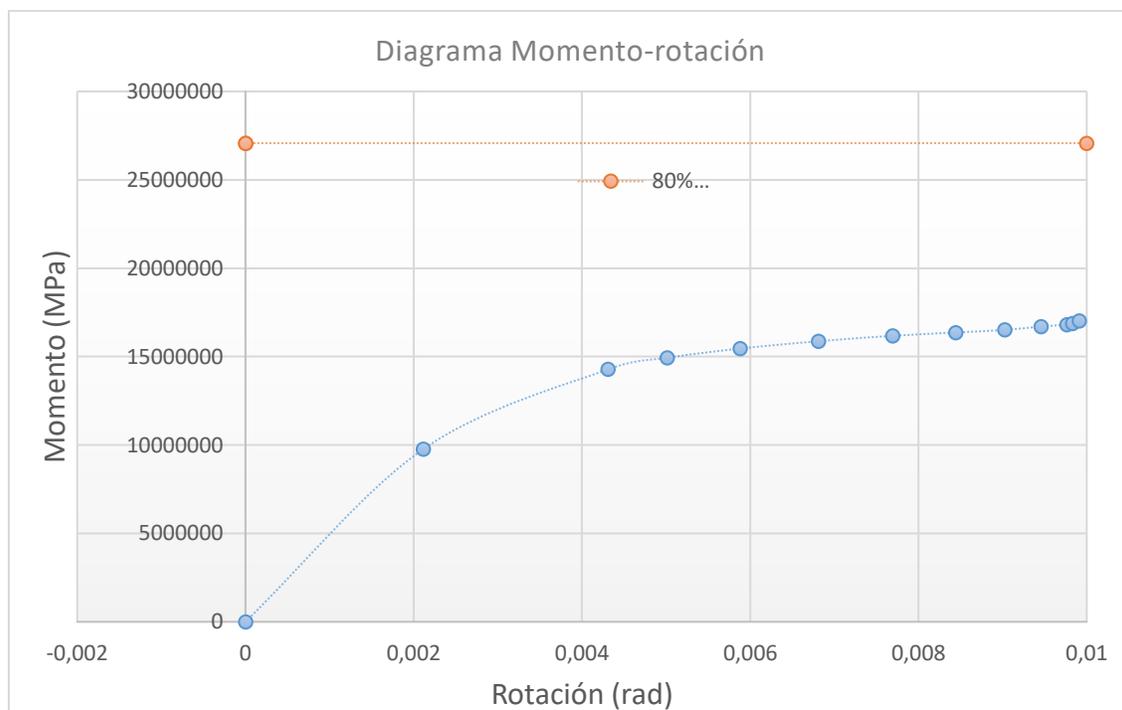


Ilustración 19. Grafica Momento-rotación de la unión soldada con perfiles tubulares.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

Por lo tanto, como se puede apreciar en la ilustración 7, esta condición no se cumple. Por otro lado, en lo que se refiere a la capacidad de rotación, en la ilustración 8 se pueden definir 2 tramos de la curva, en los cuales el primero definiría la parte elástica y el subsiguiente la parte plástica.

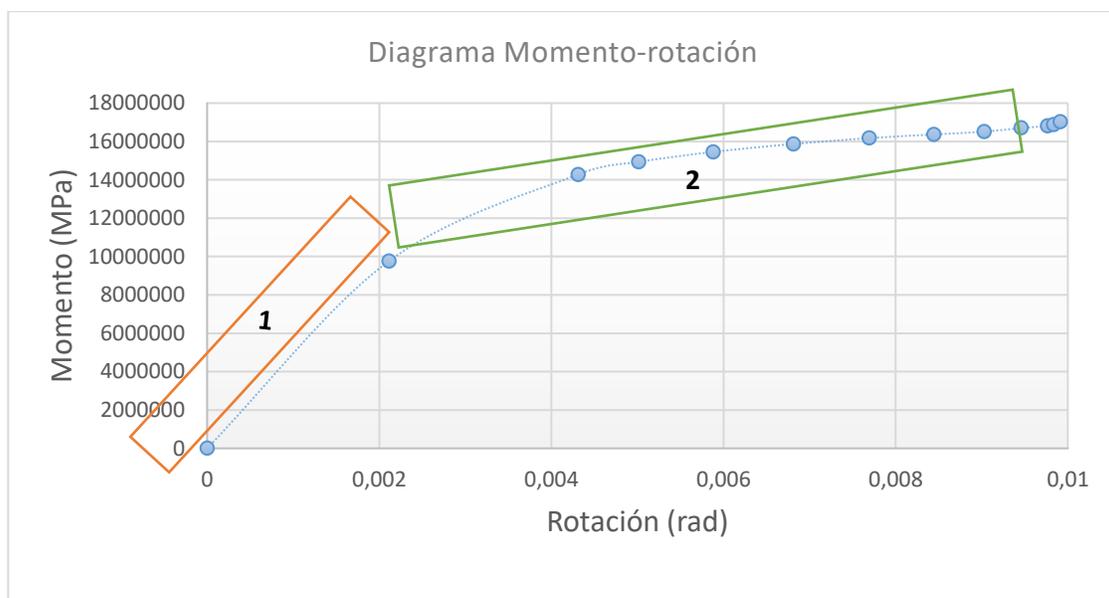


Ilustración 20. Definición de zona elástica y zona plástica en la gráfica de momento-rotación.

Por lo tanto, la capacidad de rotación se define por la rotación que existe justamente en el cambio de pendiente de la curva. En este caso la capacidad de rotación es de **0.002 rad** y la condición para ser catalogada como conexión rígida o parcialmente restringida es que la unión disponga de una capacidad de rotación de 0.04 rad o 0.02 rad respectivamente; por lo que tampoco cumple esta condición.

Por otro lado, con los resultados del modelo se pudo determinar el modo de falla de la conexión; en la ilustración 9 y 10 se puede observar que la cara columna se encuentra plastificada lo que imposibilita que la viga desarrolle su momento plástico para obtener

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

un correcto comportamiento de la unión, más por el contrario esta conexión presenta un bajo desempeño.

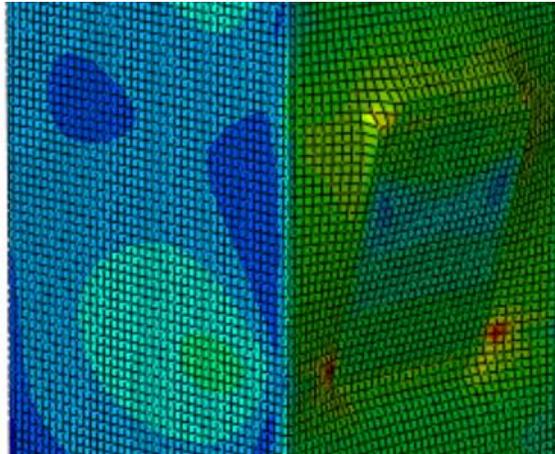
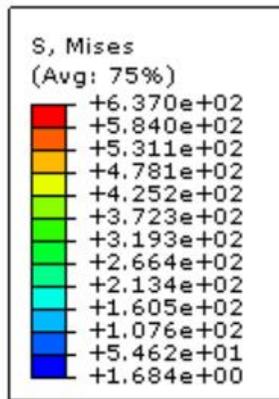


Ilustración 21. Cara de la columna que se encuentra plastificada al terminar la simulación en ABAQUS.

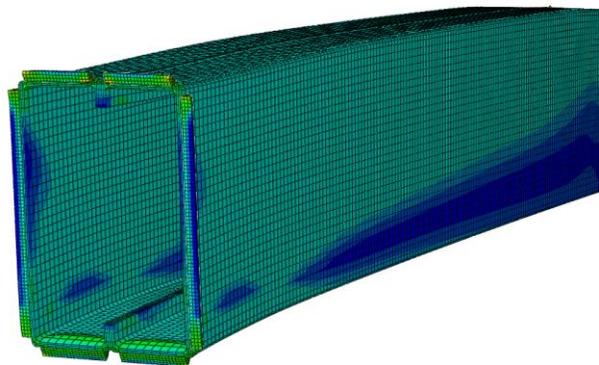
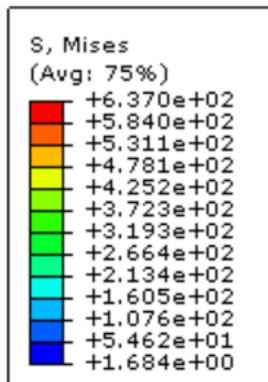


Ilustración 22. Viga que se encuentra dentro del rango elástico después de la simulación en ABAQUS.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que el modelo de elementos finitos se pudo realizar con éxito dentro del software ABAQUS, debido a que se contempló todas las condiciones de borde y los tipos de carga necesarios para representar correctamente el ensayo de laboratorio.

Del análisis realizado se pudo definir el diagrama de momento – curvatura de la conexión metálica con perfiles tubulares, en donde se evidenció que el momento flector actuante en la cara de la columna no es superior al 80% del momento plástico probable de la viga, por lo que no se considera una conexión admisible rígida o parcialmente restringida aplicable para pórticos resistentes a momento bajo cargas sísmicas.

En lo que se refiere a la capacidad de rotación, se pudo determinar con un valor de 0.002 rad, el mismo que no cumple la condición de la normativa AISC 341-16 que especifica que una unión para ser utilizada como conexión rígida o parcialmente restringida que disipa energía ante la acción de cargas sísmicas requiere de una capacidad de rotación de 0.04 rad y 0.02 rad respectivamente.

En cuanto al modelo de elementos finitos obtenido en el software ABAQUS se pudo evidenciar el modo de falla de la conexión, debido a que la cara de la columna se encuentra plastificada lo que impide que la viga desarrolle su momento plástico y genere una rotula plástica.

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que la conexión planteada con perfiles tubulares soldados no cumple con los requerimientos mínimos de capacidad de rotación y momento actuante en la cara de la columna que está en contacto con la viga por lo que su desempeño ante cargas sísmicas es bajo, lo que se ve reflejado en la inseguridad de la estructura de viviendas unifamiliares que utilicen este tipo de conexiones.

Se recomienda que para futuras investigaciones se realice el ensayo físico en laboratorio representado en este estudio, con el fin de corroborar los resultados encontrados en este

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

análisis con respecto a la capacidad de rotación de la conexión soldada con perfiles tubulares.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a mi madre que con su esfuerzo a lo largo de toda mi vida me ha sabido apoyar y guiar para conseguir mis metas. A mi esposa por acompañarme durante toda esta etapa y ser mi pilar fundamental para culminar con éxito este proceso académico.

REFERENCIAS CONSULTADAS

- AISC, A. (2016). AISC 341-16 Specification for structural steel buildings. Illinois, Chicago: AISC.
- AISC, A. (2016). AISC 358-16 Prequalified connections for special and intermediate moment frame for seismic applications. USA: AISC.
- AWS, A. (2010). Structural Welding Code - Steel. Miami: AWS Board of Directions.
- Brotóns, P. U. (2010). Construcción de estructuras metálicas.[Construction of steel structures]. San Vicente: Editorial Club Universitario.
- Crisafulli, F. J. (2018). Diseño Sismoresistente de construcciones de acero,[Earthquake resistant design of steel constructions]. Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana del Acero-Alacero.
- INEC, I. (2018). Encuesta de Edificaciones 2018. Quito: INEC.
- INEC, I. n. (2016). Encuesta de Edificaciones 2016. Quito: INEC.

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

- Jaramillo de León, O. P., Cando, W., Bucheli, J., & Enderica Guambana, P. S. (2018). Análisis de una conexión metálica soldada entre una viga "I" y una columna tubular a escala reducida. [Analysis of a welded metal connection between an "I" beam and a tubular column on a reduced scale]. *Mundo de la investigación y el conocimiento*, 302-324.
- Jiménez, M. B. (1998). El acero como material estructural. Ventajas e inconvenientes. [Steel as a structural material. Advantages and disadvantages.]. *Re. Revista de edificación.*, 109-113.
- Loges, S. (2017). Importancia de las conexiones en el comportamiento sísmico-resistente de edificaciones aperticadas de acero estructural. [Importance of connections in the seismic-resistant behavior of structural steel framed buildings]. XI Congreso Venezolano de sismología e Ingeniería Sísmica, CONV-046.
- McCormac, J., & Csernak, S. (2012). Diseño de Estructuras de Acero. [Design of steel structures] (5ta ed.). México: Alfaomega.
- Senplades, S. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 . Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Takeuchi, C. P. (2007). Conexiones en estructuras metálicas [Connections in metallic structures]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Torres Torres, C. M., & Cruz Hernández, R. (2012). Estado del arte en calificación de conexiones rígidas metálicas viga columna. [State of the art in the qualification of rigid metallic beam-column connections.]. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*.
- Univero, E. (2016). Investigación halló fallas en construcciones colapsadas durante el terremoto en Ecuador [Investigation found faults in collapsed buildings during the earthquake in Ecuador]. Obtenido de <https://n9.cl/qw2vx>
- Zibeli, M. (2016). El secreto de los edificios que no se cayeron durante el terremoto de Ecuador [The secret of the buildings that did not collapse during the earthquake in Ecuador]. Obtenido de <https://n9.cl/gys1j>

CIENCIAMATRIA

Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología

Año VIII. Vol. VIII. Nro. 3. Edición Especial 3. 2022

Hecho el depósito de ley: FA2021000002

ISSN-L: 2542-3029; ISSN: 2610-802X

Instituto de Investigación y Estudios Avanzados Koinonía (IIEAK). Santa Ana de Coro. Venezuela

Diego Josué López-Salamea; Juan Sebastián Maldonado-Noboa

©2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)