

Diseño Automatizado de Uniones Metálicas Precalificadas para el Reacondicionamiento Estructural del Polideportivo de la Unidad Educativa Isaac Montes Quevedo-Ecuador.**Automated Design of Prequalified Metal Joints for the Structural Reconditioning of the Sports Pavilion at Isaac Montes Educational Unit, Quevedo-Ecuador.**

José David Barros Enríquez, Carlos David Amaya Jaramillo, Edgar Gabriel Valencia Rodríguez, Alberto Damián Sarmiento Anchundia & Danny Alexander Rivas Sierra

PUNTO CIENCIA.**julio - diciembre, V°6 - N°2; 2025****Recibido:** 10-10-2025**Aceptado:** 27-10-2025**Publicado:** 28-10-2025**PAIS**

- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo
- Ecuador, Quevedo

INSTITUCION

- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo

CORREO:

- ✉ jbarros@uteq.edu.ec
- ✉ camaya@uteq.edu.ec
- ✉ evalencia@uteq.edu.ec
- ✉ asarmientoa@uteq.edu.ec
- ✉ drivas@uteq.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0000-0003-2165-4065>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0002-6216-5711>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0003-3822-7924>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0004-5210-2719>
- 🌐 <https://orcid.org/0000-0003-1262-5115>

FORMATO DE CITA APA.

Barros, J., Amaya, C., Valencia, E., Sarmiento, A. & Rivas, D. (2025). Diseño Automatizado de Uniones Metálicas Precalificadas para el Reacondicionamiento Estructural del Polideportivo de la Unidad Educativa Isaac Montes Quevedo-Ecuador. *Revista G-ner@ndo*, V°6 (N°2). Pág. 2256 – 2272.

Resumen

Las uniones metálicas precalificadas han ganado relevancia en la ingeniería estructural por sus ventajas en rapidez de diseño y facilidad de ensamblaje, lo que mejora la eficiencia constructiva. Estas uniones garantizan un nivel de resistencia determinado, acelerando el proceso de construcción y reduciendo costos. Sin embargo, su diseño tradicionalmente se ha basado en métodos analíticos, que, aunque precisos, son lentos y laboriosos, y pueden provocar un sobredimensionamiento de las uniones, especialmente en estructuras complejas. Este estudio se centra en el diseño automatizado de uniones metálicas precalificadas para el reacondicionamiento del polideportivo de la Unidad Educativa Isaac Montes. En la introducción, se destaca la problemática de la infraestructura educativa en Ecuador y la necesidad de soluciones sostenibles en proyectos con recursos limitados. El proyecto utiliza un enfoque colaborativo y tecnologías avanzadas para optimizar el diseño estructural. En los métodos, se emplearon herramientas como SolidWorks para el modelado estructural y el Método de Elementos Finitos (FEM) para validar la seguridad y eficiencia de las conexiones metálicas. Este enfoque permitió evitar el sobredimensionamiento al optimizar el diseño de las uniones, en contraste con los métodos tradicionales basados en códigos como AISC 358 y FEMA 350. En los resultados, se encontró que el diseño automatizado no solo garantizaba la seguridad estructural, sino que también redujo costos y el uso de materiales, ofreciendo una solución eficiente y sostenible para mejorar la infraestructura educativa en un entorno de recursos limitados.

Palabras clave: FEM, FEMA 350, AISC 358, Histéresis, Diseño automatizado.

Abstract

Prequalified metal joints have gained relevance in structural engineering due to their advantages in design speed and ease of assembly, which improves construction efficiency. These joints guarantee a determined level of resistance, accelerating the construction process and reducing costs. However, their design has traditionally been based on analytical methods, which, although precise, are slow and labor-intensive, and can lead to oversized joints, especially in complex structures. This study focuses on the automated design of prequalified metal joints for the reconditioning of the sports pavilion at Isaac Montes Educational Unit. The introduction highlights the issue of educational infrastructure in Ecuador and the need for sustainable solutions in projects with limited resources. The project uses a collaborative approach and advanced technologies to optimize the structural design. In the methods, tools such as SolidWorks were used for structural modeling, and the Finite Element Method (FEM) was applied to validate the safety and efficiency of the metal connections. This approach allowed for avoiding overdesign by optimizing the joint design, in contrast to traditional methods based on codes such as AISC 358 and FEMA 350. In the results, it was found that the automated design not only ensured structural safety but also reduced costs and material usage, offering an efficient and sustainable solution to improve educational infrastructure in a resource-limited environment.

Keywords: FEM, FEMA 350, AISC 358, Hysteresis, Automated design.

Introducción

La precariedad de la infraestructura educativa en Ecuador ha sido una constante preocupación para comunidades escolares, especialmente en zonas donde el apoyo institucional por parte de los ministerios competentes ha sido limitado o inexistente. A pesar de iniciativas como las Unidades Educativas del Milenio, que representaron un esfuerzo gubernamental por mejorar el acceso y la calidad educativa que dieron en el año 2007-2017 [1][2], muchos planteles aún enfrentan condiciones inadecuadas para el desarrollo integral de sus estudiantes. Esta situación se ve agravada por la falta de continuidad en las políticas públicas y la ausencia de un proyecto educativo nacional a largo plazo [3].

Según [4], a pesar de la fuerte inversión pública en infraestructura educativa entre 2007 y 2017, muchos proyectos en Ecuador quedaron incompletos o mal mantenidos, afectando a cerca del 77% de los estudiantes, especialmente en zonas costeras y amazónicas. A pesar de que Ecuador mantiene una inversión educativa dentro del promedio regional, los recursos no siempre se distribuyen de manera eficaz ni según las necesidades reales de los centros educativos. Desde 2018, el gasto educativo ha disminuido, exacerbando estas deficiencias.

En este contexto, surge el proyecto de vinculación con la sociedad desarrollado en la Unidad Educativa Isaac Montes, cuyo objetivo fue reacondicionar materiales estructurales considerados como desecho para la construcción de una visera en el polideportivo de la institución. Esta iniciativa no solo responde a una necesidad urgente de infraestructura, sino que también promueve la sostenibilidad mediante la reutilización de recursos, reduciendo el impacto ambiental y fomentando la conciencia ecológica en la comunidad educativa [5][6].

Para entender el porqué es necesario el estudio de las conexiones precalificadas se hace referencias a lo siguiente: el terremoto de Northridge (Los Ángeles, Estados Unidos) en 1994 ocasionó 72 muertos y pérdidas estimadas en 2.5 billones de dólares. Por su parte, el terremoto

de Kobe (Japón) en 1995 causó 5000 víctimas [7], Desde el punto de vista estructural, ambos seísmos provocaron muchos daños en las uniones de las estructuras de acero, especialmente en las conexiones a momento soldadas [8]. En las décadas de los 50 y 60 se llevaron a cabo destacadas investigaciones en las Universidades de Cambridge, Cornell y Lehigh para conocer mejor el comportamiento de estas uniones [9].

No obstante, la gravedad de los daños derivados de dos terremotos señalados motivó la redacción de dos códigos estructurales: FEMA 350 [10], que proporciona recomendaciones para el diseño y construcción de edificios con uniones de acero resistentes a momentos; y AISC 358-16 [11], que trata el diseño de conexiones precalificadas en estructuras de acero. Además, el AISC 341 [12], que establece los requisitos de diseño sísmico para estructuras de acero, también fue desarrollado para garantizar la seguridad y estabilidad de las construcciones ante cargas sísmicas.

Desde el punto de vista técnico, el proyecto incorporó herramientas de diseño asistido por computadora como SolidWorks, Abaqus, Opensees [13][14][15] permitiendo simular el comportamiento estructural de la visera antes de su construcción conforme a la AISC 360 [16]. Además, se plantea realizar un análisis detallado mediante el Método de Elementos Finitos (FEM) [17], El diseño estructural óptimo no solo toma en cuenta la eficiencia en el uso de materiales, sino también el cumplimiento de normativas que aseguren la seguridad y durabilidad de la estructura. Este enfoque se beneficia de la colaboración entre ingeniería, sostenibilidad y participación comunitaria, generando soluciones innovadoras en contextos donde los recursos son limitados. A través del uso de algoritmos evolutivos como la programación genética, las conexiones estructurales pueden ser refinadas para maximizar su rendimiento, mejorando la eficiencia y la sostenibilidad de los proyectos sin comprometer la seguridad [18].

Métodos y Materiales

El proyecto se desarrolla a través de un enfoque técnico y participativo orientado a la reutilización de materiales estructurales para la construcción de una visera en el polideportivo de la Unidad Educativa Isaac Montes. La metodología empleada combina herramientas de diseño avanzado con la participación activa de la comunidad educativa, favoreciendo un proceso colaborativo y sostenible.

Tabla 1. *Trabajo con la comunidad*



Imagen 1. Reunión con la comunidad



Imagen 2. Material en mal estado



Imagen 3. Levantamiento de la información



Imagen 4. Levantamiento de la información



Imagen 5. Material Recuperado



Imagen 6. Construcción de la cimentación



Imagen 7. Construcción de las placas Base



Imagen 8. Entrega de la Visera a la comunidad

Se inicia con un diagnóstico participativo en el que se identifican las necesidades prioritarias de la comunidad educativa y se evalúa el estado de los materiales disponibles para la construcción ver imagen 1 y 2. Este diagnóstico incluye inspección visual, registro fotográfico y la categorización de los materiales, determinando su potencial de reutilización ver imagen 3 y 4. La comunidad educativa participa activamente en la toma de decisiones, lo que refuerza el compromiso social y promueve la conciencia ecológica.

A continuación, se realiza el modelado estructural utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD), específicamente SolidWorks. Esta herramienta permite simular el comportamiento estructural de la visera bajo diversas condiciones de carga, optimizando el diseño según los recursos disponibles y las condiciones del terreno. La simulación permite validar el rendimiento de la estructura antes de proceder a la construcción, garantizando su funcionalidad y resistencia.

Para asegurar la seguridad estructural, se aplica el Método de Elementos Finitos (FEM) en las conexiones críticas de la estructura. Este análisis proporciona una validación precisa de la resistencia de las uniones metálicas, ajustando el diseño estructural para mejorar la eficiencia de las conexiones y optimizar el comportamiento de la estructura en condiciones reales de carga.

La fase constructiva se lleva a cabo de manera colaborativa, involucrando a estudiantes, docentes y miembros de la comunidad educativa ver imagen 5,6 y 7. En esta etapa, se siguen estrictos protocolos de seguridad para garantizar la integridad de todos los participantes. Además, se documenta detalladamente todo el proceso constructivo, lo que permite la replicabilidad del proyecto en otras instituciones. Durante la construcción, se supervisa continuamente la calidad del trabajo y se resuelven los problemas que surgen en el camino.

Una vez completada la visera, se realiza una evaluación funcional para valorar su desempeño en el contexto de la Unidad Educativa Isaac Montes ver imagen 8. Se recopila retroalimentación de los usuarios, evaluando la utilidad de la estructura en las actividades deportivas y recreativas, y se identifican áreas de mejora para futuros proyectos. Esta retroalimentación permite ajustar el diseño y proponer optimizaciones que contribuyan a un mejor rendimiento de las futuras infraestructuras.

Simultáneamente, se lleva a cabo un proceso de reingeniería de la estructura para determinar las dimensiones exactas y la capacidad de carga de los componentes. A través de

cálculos detallados, se evalúan las cargas máximas que la estructura puede soportar, realizando simulaciones para garantizar que la visera cumpla con los requisitos de seguridad. Se ajustan los parámetros estructurales para asegurar la estabilidad de la visera bajo condiciones críticas.

Este enfoque metodológico integra tecnologías avanzadas con la participación comunitaria, logrando una solución estructural eficaz y sostenible que no solo mejora la infraestructura educativa, sino que también promueve la reutilización de materiales y la conciencia ecológica. La metodología implementada en este proyecto es aplicable a otros contextos de escasos recursos, demostrando que es posible generar soluciones innovadoras en entornos con limitaciones económicas.

El proyecto se desarrolló mediante una secuencia de etapas técnicas y participativas, orientadas a la reutilización de materiales estructurales para la construcción de una visera en el polideportivo de la Unidad Educativa Isaac Montes.

Primero, se realizó un diagnóstico participativo con la comunidad educativa, identificando necesidades prioritarias y documentando el estado de los materiales disponibles. Este levantamiento incluyó inspección visual, registro fotográfico y categorización del material según su potencial de reutilización.

Posteriormente, se procedió al modelado estructural utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD), específicamente SolidWorks, Abaqus, Opensees. Esta herramienta permitió simular el comportamiento de la estructura bajo diferentes condiciones de carga, optimizando el diseño en función de los recursos disponibles.

Para garantizar la seguridad estructural, se aplicó el Método de Elementos Finitos (FEM) en las conexiones críticas del diseño. Este análisis permitió validar la resistencia de los puntos

de unión y ajustar el diseño para mejorar su desempeño estructural, bajo estándares internacionales se revisa los elementos de unión [19].

La fase de construcción se ejecutó de manera colaborativa, involucrando a estudiantes, docentes y miembros de la comunidad. Se implementaron protocolos de seguridad y se documentó el proceso constructivo para su posible replicación.

Finalmente, se realizó una evaluación funcional de la visera instalada, recopilando retroalimentación de los usuarios para valorar el impacto del proyecto y proponer mejoras futuras.

Reingeniería de la estructura

Se procede a determinar las distintas dimensiones para posteriormente proceder a pasar a un software de diseño asistido 3d. Se realizó la prueba de chispa para determinar que el material sea acero A36. Es necesario los momentos que se generan en el pórtico y están separados cada 6 m, teniendo un total de 5 pórticos como se muestra en la figura. Dado el peso propio del pórtico se contempla con una carga de 50kg/m, la carga viva será de 80kg/m dando un total de 130 kg/m que son datos para diseño de naves industriales, el área tributaria es de 6m, con lo que a primera instancia sería 780kg/m como se ve en la figura 2.

El área bruta de acero tomando en cuenta que el diámetro es de 2 in y que el espesor es 2mm tenemos un área de 3 cm² este valor multiplicado por 3 que es por la inercia generada, como se puede ver en la figura este valor da 9 cm² con estos datos determinamos la carga que debería soportar con la siguiente fórmula con una corrección por esfuerzo a tensión. Para la viga en cantiléver está formada por G de 80x40x15x3, las cuales son laminadas en frío y el factor de carga es de 0.6, el área de cada correa es de 4.6 cm² dando un total es de 9.2 cm².

$$P = \sigma * A = 0.9 * 2530 \frac{kg}{cm^2} * 9cm^2 = 20.5 [ton]$$

$$d = \frac{M}{F} = \frac{4.27 \text{ [ton} \cdot \text{m]}}{20.5 \text{ [ton]}} = 0.2 \text{ [m]}$$

$$P = \sigma * A = 0.6 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 9.2 \text{ cm}^2 = 13.9 \text{ [ton]}$$

$$d = \frac{M}{F} = \frac{4.27 \text{ [ton} \cdot \text{m]}}{13.9 \text{ [ton]}} = 0.31 \text{ [m]}$$

La distancia que debería tener para soportar una carga de 780kg/m es de 20 cm para la cercha formada con tubería de 2 in y para la viga en cantiléver formada por G de 80x40x15x3 es de 31 cm y la cercha actual tiene una distancia de 72 cm mucho más de lo que se necesita que es 31 cm para soportar una carga extremadamente critica por lo que se concluye que tal como se encuentra la cercha es sobredimensionada y apta para poder usarlo en el montaje estructural en la unidad educativa Issac Montes, todos estos cálculos obedecen según [10].

$$Mp = fy \cdot Z = 45 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Vp = \frac{Mp}{L_{viga}} = 27.9 \text{ kN}$$

Figura 1. Planos de la cercha fuente propia

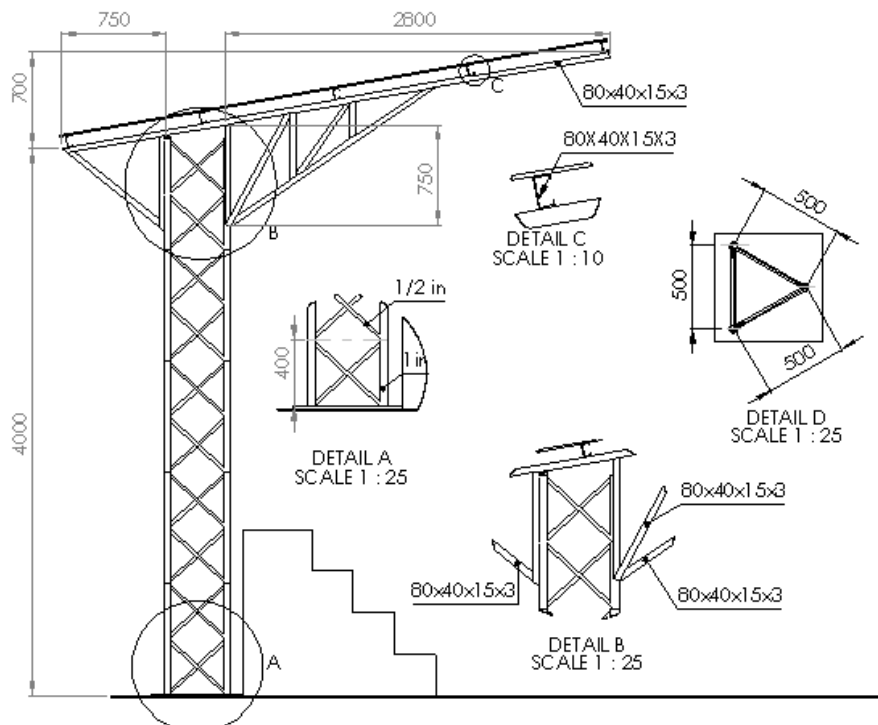
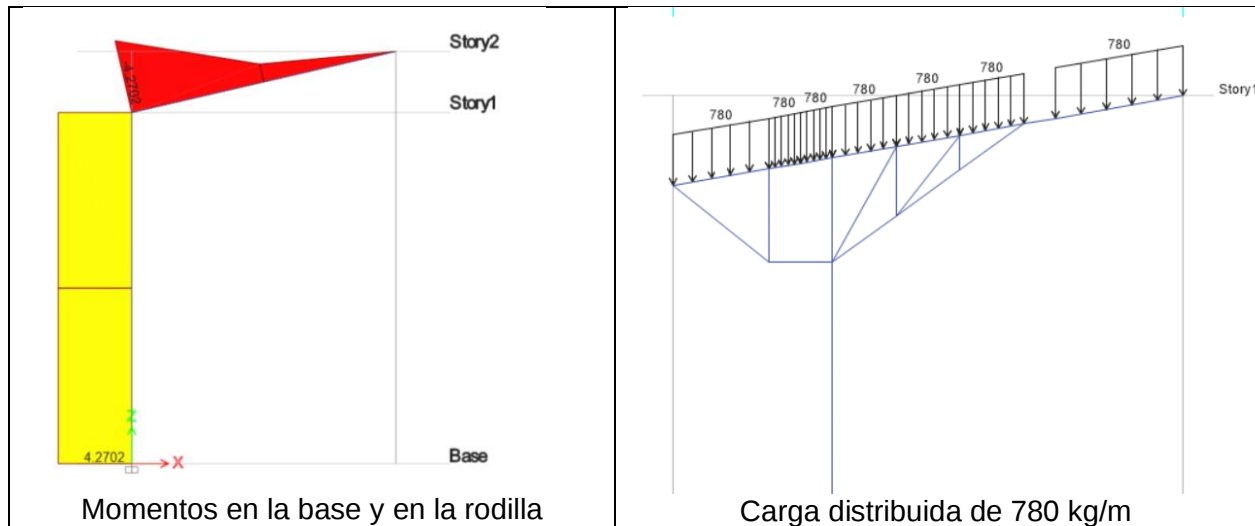


Figura 2. Distribución de momentos y carga en el pórtico



La esbeltez máxima en celosías es de 40 a 50 de la formula $e = l_{max}/r$ se obtiene la longitud máxima a la que debe estar espaciado los montantes que es $l_{max} = e * r$ donde se obtiene un valor de 90.5 cm con el radio de giro menor que es de 1.81 cm y actualmente se encuentran separados a 40 cm lo cual está dentro de los parámetros. Las distancias de 40 x 50 cm que tiene la columna está trabajando como articulación ya que no sobrepasa la distancia y trata de formar 45 grados para que sea más estable porque si se pone distanciada a 90.5 cm sufriría momentos y no se acepta momentos en una articulación [20].

$$I_{tubo} = 10.083 \text{ cm}^4$$

$$I_{tubo} = \frac{\pi}{4} (r_o^4 - r_i^4)$$

$$A_{tubo} = \pi (r_o^2 - r_i^2)$$

$$I_{tubo} = \frac{\pi}{4} ((2.54)^4 - (2.34)^4) = \frac{\pi}{4} \times 12.8049 \approx 10.083 \text{ cm}^4$$

$$A_{tubo} = \pi ((2.54)^2 - (2.34)^2) = \pi \times 0.976 \approx 3.065 \text{ cm}^2$$

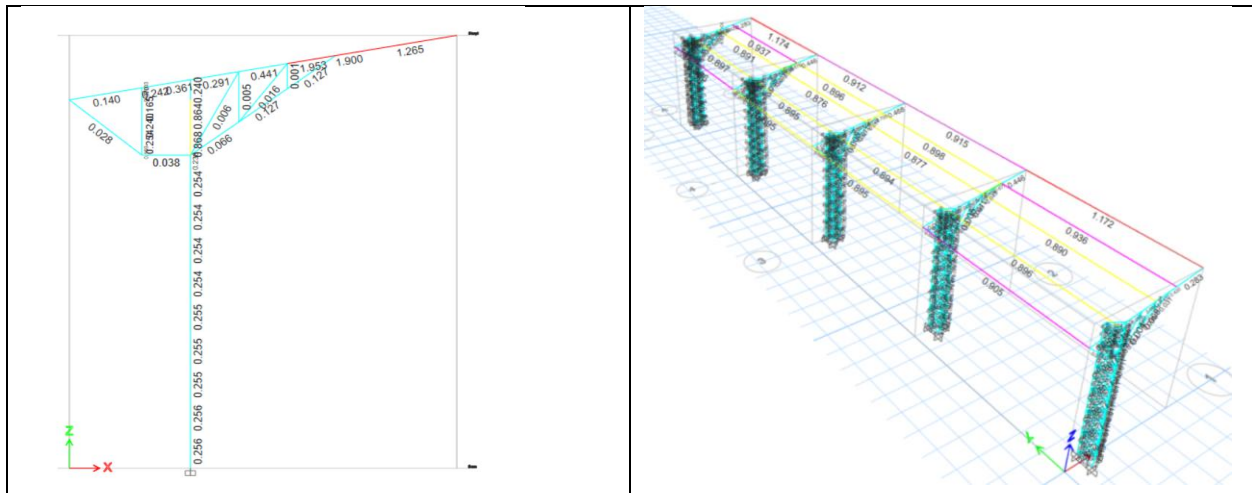
$$r = \sqrt{\frac{I_{tubo}}{A_{tubo}}} = \sqrt{\frac{10.083}{3.065}} = 1.81 \text{ cm}$$

$$e = \frac{l_{maxima}}{r}$$

$$l_{maxima} = e * r = 50 * 1.81 = 90.5 \text{ cm}$$

En los últimos dos vanos se simula con una carga de 20kg/m y el resto con 50 kg/m viéndose que esta sobredimensionado la estructura para estas cargas máximas que soporta las correas que es de 50kg/m.

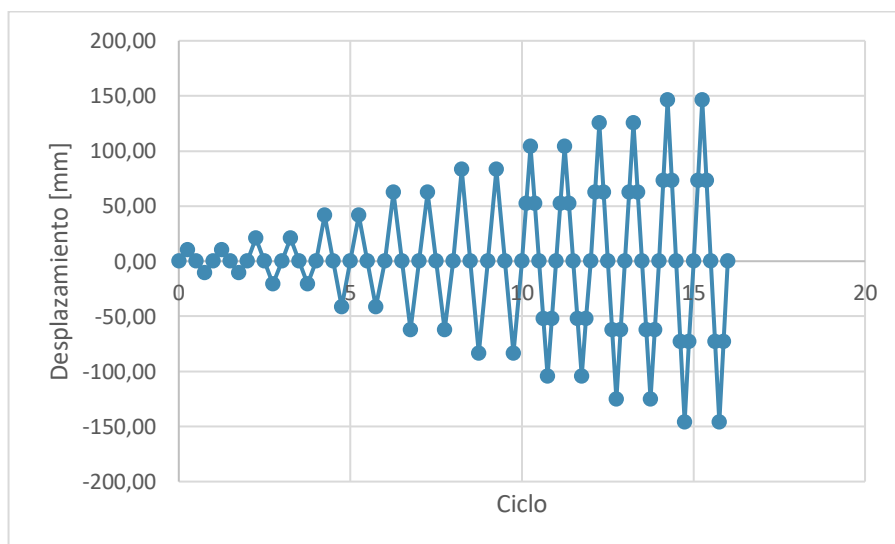
Figura 3. Relación demanda capacidad de los elementos



Análisis de Resultados

Se puede ver en la figura 4 que la cantidad de ciclos según la FEMA 350 tenemos desplazamientos máximos de hasta 150 mm en un total de 16 ciclos.

Figura 4. Ciclos para desarrollo de la histéresis de la conexión.

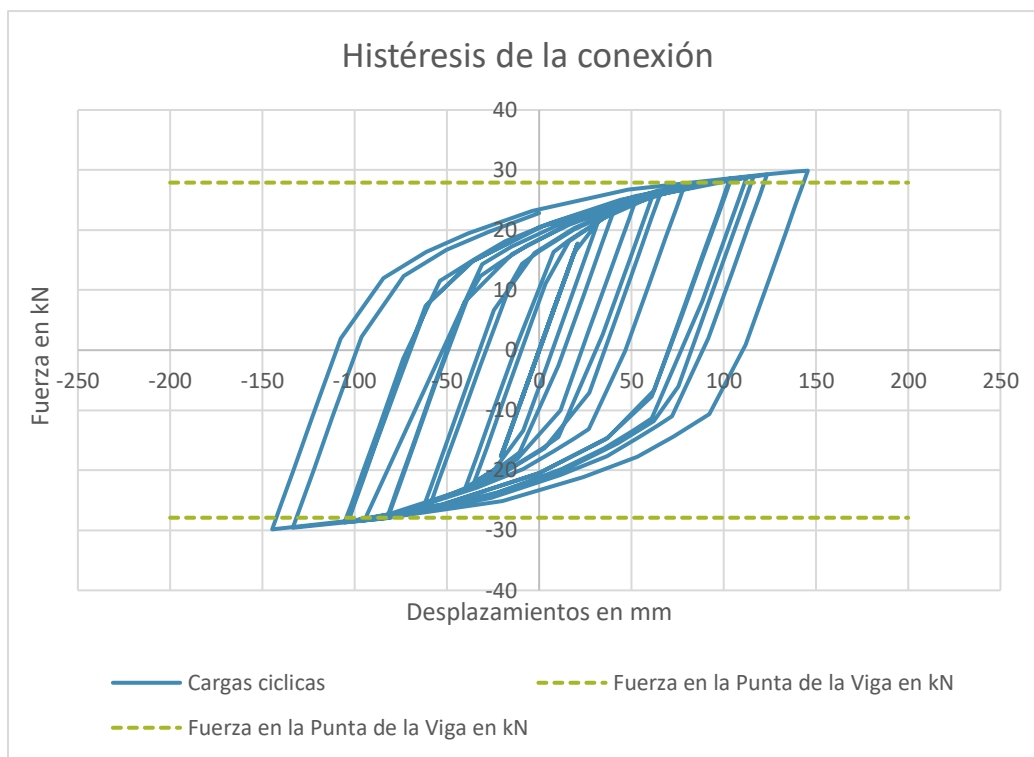


Comportamiento no lineal: La forma de la curva indica un comportamiento no lineal de la conexión, lo que es típico en las uniones metálicas sometidas a cargas cíclicas. La histéresis muestra cómo la conexión se deforma al aplicar y retirar las cargas. En la parte inicial, la conexión es elástica, pero luego se vuelve plástica con ciclos sucesivos de carga, lo que genera el bucle de histéresis observado.

Ciclos de carga y descarga: Los círculos cerrados indican que la conexión se somete a cargas cíclicas, es decir, se incrementa y disminuye la carga de manera repetida. Esto es importante para evaluar cómo se comporta la conexión en un entorno sísmico o en situaciones de cargas repetidas.

Fuerza máxima: La curva muestra que, a medida que aumentan los desplazamientos, la fuerza máxima alcanzada en cada ciclo de carga también aumenta. Esto indica que la conexión está experimentando plasticidad progresiva lo que llega a estar dentro de una conexión precalificada bajo los arreglos desarrollados en campo.

Fuerza en la punta de la viga: La línea discontinua naranja en el gráfico representa la fuerza en la punta de la viga. Esta línea es útil para comparar cómo varía la fuerza en la conexión con respecto a la fuerza en la punta de la viga durante los ciclos. Si la fuerza en la punta de la viga está en la misma magnitud que la fuerza en la conexión, esto sugiere que la conexión está transfiriendo eficientemente la carga de la viga.

Figura 5. *Histéresis de la conexión.*

Conclusiones

Comportamiento plástico:

La curva de histéresis observada en la figura 5 indica que la conexión experimenta un comportamiento plástico bajo cargas cíclicas. Este comportamiento es característico cuando una estructura se somete a cargas repetitivas o de gran magnitud, como en el caso de eventos sísmicos. A medida que la carga aplicada supera el límite elástico de los materiales, las deformaciones ya no son reversibles, lo que lleva a una deformación permanente en la conexión. El hecho de que la conexión siga funcionando eficazmente, a pesar de las deformaciones plásticas, sugiere que la conexión metálica precalificada está diseñada para soportar este tipo de comportamientos sin comprometer su capacidad estructural. En este caso, se comporta como una conexión precalificada, es decir, que cumple con los requisitos de resistencia y rigidez para

soportar cargas sísmicas y otros tipos de cargas dinámicas, lo que la convierte en una opción robusta y confiable para estructuras sísmicamente activas.

Capacidad de carga:

A medida que los desplazamientos aumentan, la fuerza máxima que la conexión puede soportar también lo hace. Este comportamiento es una indicación de que la conexión está respondiendo adecuadamente a las cargas repetidas y se mantiene resiliente durante los ciclos de carga, lo cual es clave en condiciones de movimientos sísmicos o fuerzas dinámicas. La resiliencia en la conexión significa que, incluso bajo condiciones de alta demanda estructural, la conexión no falla y continúa funcionando dentro de los límites de diseño. Este comportamiento es fundamental para estructuras sísmicamente activas, ya que garantiza que la conexión siga siendo funcional y segura incluso después de haber experimentado grandes desplazamientos y cargas repetidas.

Relevancia para diseño sísmico:

Este comportamiento es especialmente relevante para el diseño sísmico de estructuras metálicas, ya que se trata de un comportamiento plástico controlado, un aspecto esencial para las conexiones precalificadas. Según las normativas y códigos como AISC 341, FEMA 350 y AISC 358, se establece que las conexiones deben ser capaces de resistir momentos sísmicos y desplazamientos grandes sin perder su capacidad de carga o comprometer la seguridad estructural. Estas normativas buscan asegurar que las uniones metálicas no solo sean capaces de resistir grandes esfuerzos sísmicos, sino que también puedan absorber y disipar la energía sísmica sin sufrir daños significativos. El análisis de la histéresis de la conexión bajo cargas cíclicas valida que la unión precalificada cumple con estas normativas, lo que la convierte en una opción confiable para estructuras en zonas sísmicamente activas.

Investigación en Automatización y Conexiones Precalificadas:

A pesar de la importancia de las uniones metálicas precalificadas en el diseño sísmico y la creciente relevancia en la ingeniería estructural, los estudios sobre automatización del diseño de estas conexiones son limitados. El campo de la automatización mediante inteligencia artificial (IA) en el diseño de conexiones metálicas precalificadas es aún incipiente. Actualmente, existen pocas publicaciones sobre el uso de algoritmos automatizados para el diseño de uniones precalificadas, lo que deja un vacío en la investigación en este ámbito. La automatización de este proceso mediante el uso de IA podría mejorar significativamente la eficiencia, precisión y adaptabilidad del diseño, permitiendo una optimización más rápida y económica de las conexiones estructurales, además de prever un mejor rendimiento en condiciones sísmicas.

Este vacío en la investigación representa un campo prometedor para futuras investigaciones, donde la inteligencia artificial y la automatización del diseño pueden ofrecer nuevas soluciones innovadoras en el diseño y la optimización de conexiones metálicas precalificadas, mejorando así la seguridad, eficiencia y sostenibilidad en el sector de la ingeniería estructural. Con el avance de las tecnologías de machine learning y la simulación computacional, es posible que en el futuro cercano se logren avances significativos en la automatización del diseño de uniones metálicas precalificadas, beneficiando tanto la industria como las comunidades vulnerables a eventos sísmicos.

Referencias bibliográficas

- [1] V. L. A. Vélez, “Amenazas a la infraestructura escolar pública contemporánea en Ecuador frente a calamidades. Caso: Unidades Educativas del Milenio,” *Rev. Científica y Tecnológica UPSE*, vol. 7, no. 2, pp. 64–73, 2020, doi: 10.26423/rctu.v7i2.539.
 - [2] M. F. Oviedo Cumbicus, S. V. Gallegos Suquilanda, and R. I. Alejandro Maza, “Influencia de la Infraestructura Escolar en el Rendimiento Académico de los Estudiantes,” *Estud. y Perspect. Rev. Científica y Académica*, vol. 4, no. 4, pp. 2266–2278, 2025, doi: 10.61384/r.c.a..v4i4.790.
 - [3] R. Vanessa, F. Sarmiento, D. Carolina, and G. Ricaurte, “Roxana Vanessa Flores Sarmiento,” *Polo del Conoc.*, vol. 7, no. 8, pp. 625–640, 2022, doi: 10.23857/pc.v7i8.
 - [4] A. Espinosa Andrade, L. Padilla, and S. J. Carrington, “Educational spaces: The relation between school infrastructure and learning outcomes,” *Heliyon*, vol. 10, no. 19, p. e38361, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e38361.
 - [5] G. K. Rengifo Ávila and E. E. Espinoza Freire, “Estudio sobre los problemas en la educación ecuatoriana y políticas educativas, 1990-2018,” *Rev. Metrop. Ciencias Apl.*, vol. 2, no. 3, pp. 175–182, 2019, doi: 10.62452/zdh4jk87.
 - [6] J. D. Ortiz-herrera, L. H. Buitrón-aguas, and F. Córdova-canela, 10 . *Infraestructura escolar y calidad educativa en el Ecuador School infrastructure and educational quality in Ecuador. 1939.*
 - [7] C. M. Torres Torres and R. Cruz Hernández, “State of the Art in Qualification of Connections Rigid Metallic Beam Column,” *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, 2012.
 - [8] D. Henríquez, R. F. Herrera, and J. C. Vielma, “Method for Designing Prequalified Connections Using Generative Design,” *Buildings*, vol. 12, no. 10. p. 1579, Sep. 30, 2022, doi: 10.3390/buildings12101579.
 - [9] L. S. Beedle and R. Christopher, “Tests of Steel Moment Connections,” *Eng. J.*, vol. 1, no. 4, pp. 116–125, 1964, doi: 10.62913/engj.v1i4.1241.
 - [10] FEMA 350, “Federal Emergency Management Agency FEMA 350,” FEMA 350, 2000.
 - [11] ANSI / AISC 358 - 16, “Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, including Supplements No. 1 and No. 2,” *Am. Inst. Steel Constr.*, vol. 2016, no. 1, p. 338, 2016, [Online]. Available: <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a358-20w.pdf>.
 - [12] ANSI/AISC 341-16, “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-10,” *Struct. Anal. Des. Tall Build.*, pp. 355–410, 2011, doi: 10.1201/b11248-8.
-

- [13] P. Tarighi, M. A. Kafi, and R. Vahdani, "Experimental and numerical investigation of the performance of replaceable-rigid connection," *Structures*, vol. 53, no. October 2022, pp. 12–28, 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.04.047.
 - [14] T. Horton, "Predicting Reduced Beam Section (RBS) Connection Performance in Steel Moment Frames," 2021.
 - [15] T. A. Horton, I. Hajirasouliha, B. Davison, Z. Ozdemir, and I. Abuzayed, "Development of more accurate cyclic hysteretic models to represent RBS connections," *Eng. Struct.*, vol. 245, p. 112899, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112899>.
 - [16] C. Mecánica, "Escuela Superior Politécnica De Chimborazo Facultad De Mecánica Evaluación Experimental Para Caracterizar Juntas De Acero a36 Soldadas Mediante El Proceso Fcaw," 2022.
 - [17] D. G. Silva Cruz, "Programa para el diseño de columnas compuestas sujeta a flexocompresión biaxial por los métodos: LRFD, ACI y Eurocódigo 3," pp. 1–371, 2007.
 - [18] Y. Yang and C. Kiong Soh, "Automated optimum design of structures using genetic programming," *Comput. Struct.*, vol. 80, no. 18–19, pp. 1537–1546, 2002, doi: 10.1016/S0045-7949(02)00108-6.
 - [19] AWS D1.1, Código de soldadura estructural — Acero. 2020.
 - [20] J. McCormac and S. Csernak, "Diseño de Estructuras de Acero," *Diseño de Estructuras de Acero*, p. 143, 2012.
-