



Desarrollo de una hoja de cálculo para el diseño de conexión precalificada “Conexión a momento de placa de extremo rigidizada de ocho pernos”

Giovannys Arroyo Castro
Miguel Mariano Pereira Osten

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras

Asesor
Mauricio José Castro García, Magíster (MSc) en Ingeniería Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras
Medellín, Antioquia, Colombia
2023

Cita

(Arroyo Castro & Pereira Osten, 2023)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

Arroyo Castro, G., & Pereira Osten, M. M. (2023). *Desarrollo de una hoja de cálculo para el diseño de conexión precalificada “Conexión a momento de placa de extremo rigidizada de ocho pernos”* [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte X.



Elija un elemento.

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	6
Abstract.....	7
Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.
Referencias	30

Lista de tablas

Tabla 1 Resultados del test PBQ-SF (Personality Belief Questionnaire Short Form)
..... ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 2 Características demográficas y tipo de tratamiento de hemodiálisis y diálisis
peritoneal con la adherencia (SMAQ) ¡Error! Marcador no definido.

Tabla 3 Categorías de la investigación ¡Error! Marcador no definido.

Lista de figuras

Figura 1 Portada Normas APA séptima edición 2020 en inglés **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 2 Logo Universidad de Antioquia..... **¡Error! Marcador no definido.**

Resumen

Este documento es una monografía de tipo hoja de cálculo que se enfoca en uno de los tipos de conexiones precalificadas incluidas en la especificación AISC 358-16 diseñada para soportar cargas sísmicas en sistemas aporticados resistentes a momentos con condiciones de disipación de energía especial y moderada (PRM-DES y PRM-DMO), la denominada “Conexión a momento de placa de extremo rigidizada con ocho pernos”. Para ello se presenta un esquema donde se evidencia la importancia de este tipo de conexión, a través de una breve revisión bibliográfica. Esta hoja de cálculo se fundamenta en las normativas de diseño AISC 360-16, AISC 341-16 y AISC 358-16, siguiendo los pasos expresados en esta última norma para diseño de la Placa de extremo, pernos y diseño del lado de la columna. Esta hoja se complementa con el manual de provisiones sísmicas y la guía N°4 de la AISC en las cuales se basará la nueva normatividad colombiana próxima a emitirse a la fecha de ejecución de este trabajo.

Palabras clave: Conexión precalificada, placa de extremo, rigidizador, resistencia, fluencia, cortante, momento.

Abstract

This document is a spreadsheet-type monograph focusing on one of the types of prequalified connections included in the AISC 358-16 specification designed to support seismic loads in moment-resistant framed systems with special and moderate energy dissipation conditions (PRM-DES and PRM-DMO), the so-called "Stiffened end plate moment connection with eight bolts". To do this, a scheme is presented where the importance of this type of connection is evident, through a brief bibliographic review. This spreadsheet is based on the design standards AISC 360-16, AISC 341-16 and AISC 358-16, following the steps expressed in this last standard for the design of the end plate, bolts and column side design. This sheet is complemented by the seismic provisions manual and AISC guide No. 4 on which the new Colombian regulations soon to be issued on the date of execution of this work will be based.

Keywords: Prequalified connection, end plate, stiffener, strength, yield, shear, moment.

1 Justificación

Es esencial que las estructuras se diseñen y construyan de acuerdo con premisas específicas que garanticen su resistencia, rigidez y ductilidad durante un sismo. Un elemento crucial para lograr este objetivo es asegurar que las conexiones tengan un desempeño adecuado. En el caso de los sistemas estructurales de pórticos resistentes a momento con capacidad intermedia (PRM-DMI) o especial (PRM-DES) de disipación de energía, se requiere demostrar que estas conexiones cumplen con una serie de condiciones mediante programas de ensayos rigurosos.

Una opción para obviar la evaluación y calificación de estas conexiones es el uso de conexiones precalificadas que se ajusten a rangos de aplicación y condiciones específicas. Esto proporciona una manera confiable de asegurar la calidad y el rendimiento de las conexiones durante eventos sísmicos. Al adoptar estas conexiones precalificadas, los diseñadores pueden implementar de manera eficiente y segura estructuras que cumplan con los estándares requeridos.

Actualmente, se está llevando a cabo la actualización de la normativa técnica colombiana de construcción sismorresistente (NSR-10). Esta normativa incorpora modificaciones que requieren que los ingenieros calculistas se mantengan actualizados y se adapten a estas modificaciones. Con este fin, se busca desarrollar una hoja de cálculo que anticipará los parámetros basados en las normas AISC 360-16 y AISC 341-16, y en particular en la norma AISC 358-16 para el diseño de conexiones precalificadas. Es importante destacar que el uso de este tipo de conexiones precalificadas está restringido únicamente al sistema de resistencia sísmica de pórticos resistentes a momentos en estructuras de acero.

El presente trabajo se enfoca en la necesidad de los diseñadores de contar con herramientas que les permitan implementar de manera eficiente y segura el uso de conexiones precalificadas. Se centra en un tipo específico de conexión precalificada, conocida como Conexión a Momento de Placa de Extremo Rigidizada de 8 pernos. Además, este trabajo proporciona una base sólida para explorar nuevas posibilidades en el desarrollo de sistemas de conexiones precalificadas o en la ampliación del rango de aplicación de las conexiones existentes. Los autores y los usuarios pueden aprovechar esta referencia para impulsar la

innovación en el campo de las conexiones precalificadas y buscar soluciones más versátiles y eficientes.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Elaboración de una hoja de cálculo para el tipo de conexión precalificada “Conexión a momento de placa de extremo rigidizada de ocho pernos”

2.2 Objetivos específicos

- Realizar una breve búsqueda bibliográfica acerca de las conexiones precalificadas.
- Conocer las generalidades de diseño de la conexión precalificada “conexión precalificada “Conexión a momento de placa de extremo rigidizada de ocho pernos” según la AISC 341-16 y NSR-10.
- Elaboración de una hoja de cálculo mediante la herramienta de Office Excel con los parámetros actualizados de la AISC- 360-16.

3 Marco teórico

Generalidades

El criterio general del diseño sismorresistente es esencial para garantizar la seguridad y eficacia de estructuras frente a eventos sísmicos. Enfocándonos en conexiones precalificadas según las normativas AISC 341-16 y NSR-10, se destaca la importancia de diseñar conexiones que puedan resistir y disipar las fuerzas generadas por un terremoto.

La AISC 341-16, desarrollada por el American Institute of Steel Construction, establece estándares rigurosos para el diseño sismorresistente de estructuras de acero. Las conexiones precalificadas, bajo este marco, deben demostrar su capacidad para soportar cargas sísmicas y mantener la integridad estructural.

REQUISITOS PARA LAS CONEXIONES PRM-DMI vs PRM-DES SEGÚN LA AISC 341-16:		
REQUISITOS\SISTEMA	PRM-DMI	PRM-DES
SOLDADURA PARA LA DEMANDA CRITICA	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadura de ranura • Soldadura en las conexiones de la columna a la placa base • Soldadura de ranura de penetración completa de alas de vigas y almas de vigas a columnas 	<ul style="list-style-type: none"> • Soldadura de ranura • Soldadura en las conexiones de la columna a la placa base • Soldadura de ranura de penetración completa de alas de vigas y almas de vigas a columnas
CONEXIÓN VIGA COLUMNA	Conexiones viga-columna en el SFRS <ul style="list-style-type: none"> • Deberá soportar un ángulo de deriva de piso de 0.02 rad • La resistencia medida a flexión de la conexión, determinada en la cara de la columna, debe ser por lo menos $M_p 0.8$ de la viga conectada a un ángulo de deriva de piso de 0.02 radianes 	Conexiones viga-columna en el SFRS <ul style="list-style-type: none"> • Deberá soportar un ángulo de deriva de piso de 0.04 rad • La resistencia medida a flexión de la conexión, determinada en la cara de la columna, debe ser por lo menos $M_p 0.8$ de la viga conectada a un ángulo de deriva de piso de 0.04 radianes
VALIDACIÓN DE LA CONEXIÓN	Los requisitos de la conexión viga-columna de la sección anterior para un SFRS debe satisfacer una de las siguientes condiciones <ul style="list-style-type: none"> • Uso de conexiones PRM-DMI de acuerdo con ANSI/AISC 358 • Uso de una conexión precalificada PRM-DMI de 	Los requisitos de la conexión viga-columna de la sección anterior para un SFRS debe satisfacer una de las siguientes condiciones <ul style="list-style-type: none"> • Uso de conexiones PRM-DES de acuerdo con ANSI/AISC 358 • Uso de una conexión precalificada PRM-DES de

	<p>acuerdo con el capítulo k de ANSI/AISC 341-16</p> <ul style="list-style-type: none"> • Especificaciones de resultados de ensayos cíclicos de calificación de acuerdo con el capítulo k de ANSI/AISC 341-16. deben realizarse al menos dos ensayos de la conexión y pueden basarse en una de las consideraciones siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ensayos reportados en artículos de investigación o ensayos documentados realizados para otros proyectos que representen las condiciones del proyecto, con los límites especificados en el capítulo k de ANSI/AISC 341 -16. <input type="checkbox"/> ensayos enfocados específicamente para el proyecto que sean representativos de los tamaños de los miembros, resistencia del material, configuración de conexiones, procesos constructivos de la conexión, con los límites especificados en el capítulo k de ANSI/AISC 341 -16. 	<p>acuerdo con el capítulo k de ANSI/AISC 341-16</p> <ul style="list-style-type: none"> • Especificaciones de resultados de ensayos cíclicos de calificación de acuerdo con el capítulo k de ANSI/AISC 341-16. deben realizarse al menos dos ensayos de la conexión y pueden basarse en una de las consideraciones siguientes: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ensayos reportados en artículos de investigación o ensayos documentados realizados para otros proyectos que representen las condiciones del proyecto, con los límites especificados en el capítulo k de ANSI/AISC 341 -16. <input type="checkbox"/> ensayos enfocados específicamente para el proyecto que sean representativos de los tamaños de los miembros, resistencia del material, configuración de conexiones, procesos constructivos de la conexión, con los límites especificados en el capítulo k de ANSI/AISC 341 -16.
RESISTENCIA AL CORTANTE REQUERIDA	la resistencia requerida a cortante V_u de la conexión debe basarse en las combinaciones de carga estipuladas por el método de resistencia ultima con factores de carga e incluyendo la carga sísmica amplificada, en la cual el efecto de las fuerzas horizontales incluyendo la	La resistencia requerida a cortante V_u de la conexión debe basarse en las combinaciones de carga estipuladas por el método de resistencia ultima con factores de carga e incluyendo la carga sísmica amplificada, en la cual el efecto de las fuerzas horizontales incluyendo la sobre resistencia que debe ser

	<p>sobre resistencia que debe ser calculada de acuerdo a lo siguiente:</p> $E_{cl} = 2(1.1R_y M_p) / L_h$ <p>Dónde:</p> <p>Ry: Relación del esfuerzo de fluencia esperado y el mínimo especificado Fy.</p> <p>Mp: Momento de plastificación de la viga igual a $Z_b F_y b$</p> <p>Lh: Distancia entre rótulas plásticas.</p>	<p>calculada de acuerdo a lo siguiente:</p> $E_{cl} = 2M_{pr} / L_h$ <p>Donde:</p> <p>Mpr: Momento máximo probable en la ubicación de la bisagra plástica, como se define en la Sección E3.4a, kip-in. (N-mm)</p> <p>Lh: Distancia entre rótulas plásticas.</p>
ZONA DE PANELES	No hay requisitos de zona de panel adicionales	<ul style="list-style-type: none"> Resistencia al corte requerida (ver AISC 341-16, SEC E3) Espesor de la zona del panel $t \geq (d_z + w_z) / 90$ <ul style="list-style-type: none"> Placas duplicadoras de zona de panel (ver AISC 341-16, SEC E3)
PLACAS DE CONTINUIDAD	Se proporcionarán placas de continuidad de acuerdo con las disposiciones de la Sección E3.6f.	<p>Se proporcionarán placas de continuidad según lo requerido por esta sección.</p> <p>Excepción: Esta sección no se aplicará en los siguientes casos.</p> <p>(a) Cuando las placas de continuidad se determinen de otro modo en una</p>

		<p>precalificación de conexión de acuerdo con la Sección K1.</p> <p>(b) Cuando una conexión está calificada de acuerdo con la Sección K2 para condiciones en las que el conjunto de prueba omite placas de continuidad y coincide con los tamaños de viga y columna del prototipo y la luz de la viga.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Condiciones que requieren placas de continuidad (VER AISC 341-16 SEC E3) 2. Requisitos de la placa de continuidad (VER AISC 341-16 SEC E3)
EMPALMES DE COLUMNAS	Los empalmes de columnas deberán cumplir con los requisitos de la Sección E3.6g.	<p>Los empalmes de columnas deberán cumplir con los requisitos de la Sección D2.5.</p> <p>Excepción: La resistencia requerida del empalme de la columna, incluidos los factores de concentración de tensión apropiados o los factores de intensidad de tensión de la mecánica de fractura, no necesita exceder la determinada por un análisis no lineal como se especifica en el Capítulo C.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Empalmes de bridas de columnas soldadas

		<p>mediante soldaduras de ranura CJP (VER AISC 341-16 SEC E3)</p> <p>2. Empalmes de bridas de columnas soldadas mediante soldaduras de ranura PJP (VER AISC 341-16 SEC E3)</p> <p>3. Empalmes de alma de columnas soldadas mediante soldaduras de ranura CJP (VER AISC 341-16 SEC E3)</p> <p>4. Empalmes de alma de columnas soldadas mediante soldaduras de ranura PJP (VER AISC 341-16 SEC E3)</p> <p>5. Empalmes de columnas atornilladas (VER AISC 341-16 SEC E3)</p>
--	--	---

La NSR-10, por su parte, se refiere a la normativa sísmica colombiana. En este contexto, las conexiones precalificadas deben cumplir con los requisitos específicos de esta norma para asegurar su idoneidad en el contexto geotécnico y estructural colombiano.

Estos criterios abogan por conexiones que no solo sean fuertes y resistentes, sino también capaces de deformarse plásticamente de manera controlada, garantizando así la capacidad de absorber y disipar la energía generada por un sismo. En última instancia, la meta es salvaguardar vidas y propiedades al asegurar que las estructuras permanezcan estables y funcionales incluso en condiciones sísmicas adversas.

Conexión fuerte – Viga débil

La conexión fuerte y la viga débil son conceptos fundamentales en el diseño de estructuras de acero según el American Institute of Steel Construction (AISC). Estos términos se refieren a la distribución de fuerzas y momentos en una estructura, crucial para garantizar la integridad y seguridad de la misma.

En el contexto de la AISC, la conexión fuerte se refiere a una unión o empalme estructural que tiene la capacidad de transferir tanto cargas axiales como momentos entre elementos de

acero. Esta conexión robusta es esencial en situaciones donde se esperan cargas significativas, ya que debe resistir tanto fuerzas de compresión como de tracción, así como momentos flexionantes. La conexión fuerte se logra mediante métodos de diseño y fabricación que aseguran la continuidad estructural y la transferencia eficiente de las cargas a lo largo de la conexión.

Contrastando con esto, la viga débil es un componente estructural que, en comparación con las columnas y otros elementos principales, tiene una capacidad de carga menor. En el diseño sísmico, por ejemplo, las vigas débiles son identificadas como elementos susceptibles a deformaciones plásticas y, por ende, se espera que experimenten mayores desplazamientos laterales en comparación con elementos más fuertes. Este concepto se basa en la premisa de que, en situaciones de carga extrema o eventos sísmicos, es preferible que las vigas, elementos más flexibles, se deformen antes que otros elementos más rígidos para absorber y disipar la energía sísmica.

El enfoque de la AISC en la conexión fuerte y la viga débil responde a la necesidad de diseñar estructuras capaces de resistir diversas cargas y eventos extremos. La conexión fuerte garantiza la transferencia efectiva de cargas a lo largo de la estructura, mientras que la identificación y gestión de vigas débiles se convierte en una estrategia crucial para mejorar la capacidad de una estructura para resistir cargas sísmicas y otras fuerzas extremas.

En el diseño estructural, la conexión fuerte y la consideración de vigas débiles influyen en la selección de materiales, métodos de construcción y estrategias de refuerzo. Los ingenieros estructurales deben evaluar cuidadosamente cómo estas variables interactúan para lograr un equilibrio óptimo entre la resistencia, la ductilidad y la capacidad de disipación de energía de la estructura.

Requisitos generales para las conexiones según la AISC 341-16.

La AISC 341-16 establece requisitos generales para conexiones sísmicas en estructuras de acero. Algunos de estos requisitos clave incluyen:

1. *Ductilidad (μ)*: Las conexiones deben ser diseñadas para ser lo suficientemente dúctiles para permitir deformaciones plásticas. La ductilidad (μ) es un parámetro que mide la capacidad de deformación antes de la falla.

2. *Resistencia a Momentos (M_p)*: Las conexiones deben tener la capacidad de resistir momentos sísmicos significativos. Esto implica el diseño de conexiones que puedan soportar momentos flexionantes considerables.
3. *Cargas Axiales últimas aplicadas (P_u)*: Además de momentos, las conexiones deben ser capaces de resistir cargas axiales. Esto es esencial para garantizar la estabilidad global de la estructura durante eventos sísmicos.
4. *Cortante último aplicado (V_u)*: La conexión debe ser capaz de resistir fuerzas de cortante sísmico. La resistencia a cortante (V_u) es un parámetro crítico que se evalúa en el diseño de conexiones.
5. *Prevenir Desprendimientos (W)*: Se deben tomar medidas para prevenir desprendimientos y asegurar que las partes de la conexión permanezcan unidas durante un evento sísmico.
6. *Asegurar Condiciones de Desempeño (*Deformation Compatibility*)*: Las conexiones deben diseñarse para garantizar la compatibilidad de deformaciones en toda la estructura. Esto implica la consideración de deformaciones relativas entre elementos conectados.
7. *Detalles Constructivos Específicos*: La AISC 341-16 proporciona detalles constructivos específicos para varios tipos de conexiones, asegurando que se cumplan los requisitos generales y se eviten posibles modos de falla.
8. *Consideraciones de Reversibilidad (*Reversibility*)*: En ciertos casos, especialmente en estructuras críticas como hospitales y edificaciones esenciales, se pueden requerir conexiones que sean reversibles, lo que significa que puedan soportar movimientos en ambas direcciones durante un sismo sin sufrir daños significativos.

Estos requisitos generales buscan garantizar que las conexiones en estructuras de acero sean capaces de resistir las cargas y deformaciones asociadas con eventos sísmicos, asegurando así la integridad estructural y la seguridad de las personas que ocupan o interactúan con dichas estructuras. Es importante tener en cuenta que la AISC 341-16 proporciona detalles y requisitos específicos que deben seguirse durante el diseño y la construcción de conexiones sísmicas en estructuras de acero.

Procedimientos y criterios de conformidad de las conexiones según la AISC 341-16

La AISC 341-16 establece procedimientos y criterios específicos para demostrar la conformidad de las conexiones con los requisitos necesarios en el contexto del diseño sísmico de estructuras de acero. Algunos de los aspectos clave incluyen:

- **Documentación de Diseño**: Se espera que el ingeniero de diseño proporcione una documentación completa y detallada que demuestre cómo se cumplen los requisitos

de la AISC 341-16 para cada conexión en particular. Esto incluirá cálculos, esquemas, detalles constructivos y cualquier otro dato relevante.

- Cálculos de Resistencia y Deformación: Deberán realizarse cálculos detallados para demostrar que la conexión puede resistir las cargas sísmicas previstas y deformarse adecuadamente de acuerdo con los criterios de ductilidad establecidos.
- Modelado Estructural: Los modelos estructurales utilizados para el diseño de las conexiones deben ser representativos de la realidad y tener en cuenta todos los efectos significativos, incluyendo la interacción entre elementos, cargas, y comportamiento sísmico esperado.
- Consideración de Modos de Falla: Se espera que el ingeniero de diseño identifique y evalúe los posibles modos de falla de la conexión en función de los requisitos de la AISC 341-16 y tome medidas para prevenirlos o mitigarlos.
- Verificación Experimental: En algunos casos, puede ser necesario realizar pruebas experimentales para verificar el desempeño de las conexiones bajo cargas sísmicas simuladas. Estas pruebas pueden incluir pruebas de laboratorio o pruebas en el sitio, según sea apropiado.
- Inspección y Control de Calidad: La AISC 341-16 también destaca la importancia de la inspección y el control de calidad durante la fabricación e instalación de las conexiones para garantizar que se construyan de acuerdo con los requisitos de diseño.

Es fundamental que la documentación proporcionada por el ingeniero de diseño sea clara, completa y respaldada por cálculos y análisis rigurosos. Además, las conexiones deben construirse e inspeccionarse de acuerdo con los estándares de calidad establecidos para asegurar que cumplen con los requisitos de diseño y son capaces de resistir las cargas sísmicas esperadas.

En el año de 2002 la AISC (2002) especifica los requisitos que se deben cumplir para la precalificación de conexiones, en los apéndices P y S, actualizados en (AISC, 2005). En el capítulo correspondiente a calificación de conexiones, FEMA 350 (2000) presenta los criterios de diseño de 9 conexiones precalificadas, entre las cuales las más usadas en Colombia y en muchos otros países son la conexión Bolted Unstiffened End Plate Connection (BUEP) y la Reduced Beam Section Connection (RBS). Las conexiones precalificadas presentadas en dicho documento se presentan en las figuras 1 a 9. (Mauricio Torres Torres & Cruz Hernández, s. f.)

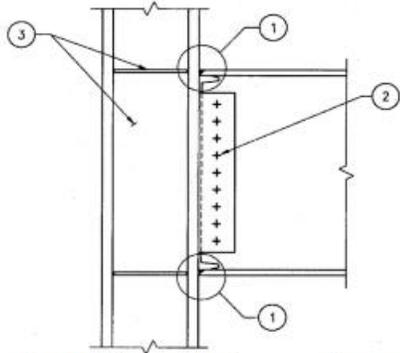


Fig. 1. Aleta soldada sin refuerzo – alma pernada
(Welded Unreinforced Flange – Bolted Web
Connections, WUF-B, FEMA 350, 2000)

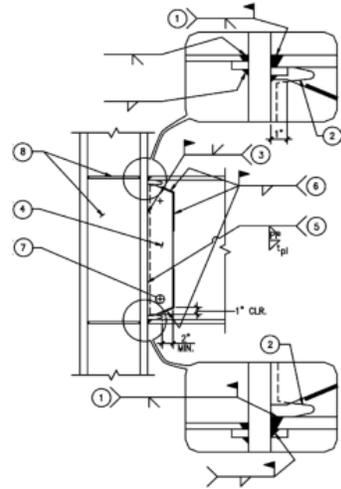


Fig. 2. Aleta soldada sin refuerzo - alma soldada.
(Welded Unreinforced Flange – Welded Web
Connections, WUF-W, FEMA 350, 2000)

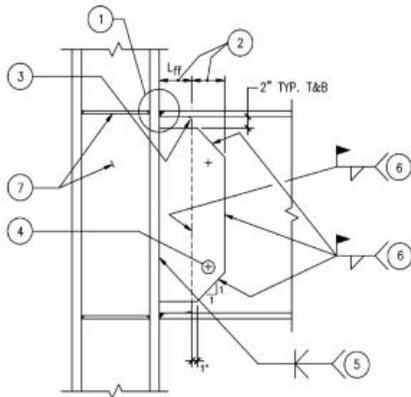


Fig. 3. Conexión soldada de aleta libre. (Welded
Free Flange Connection, FF FEMA 350, 2000)

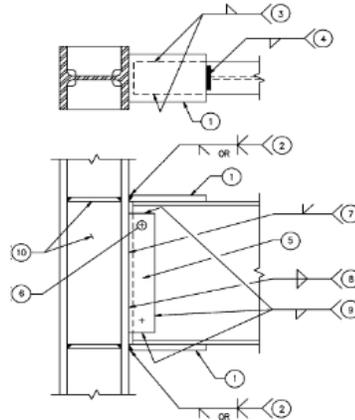


Fig. 4. Conexión soldada con cubre placa. (Welded
Flange Plate Connection, WFP, FEMA 350, 2000)

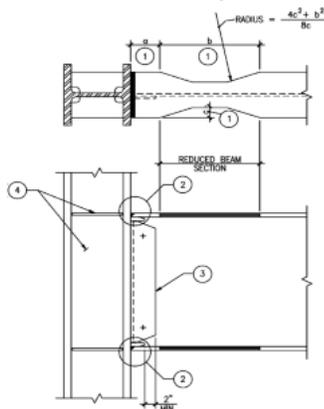


Fig. 5. Conexión con sección reducida en la viga,
(también conocida como "hueso de perro").
(Reduced Beam Section Connection, RBS, FEMA
350, 2000)

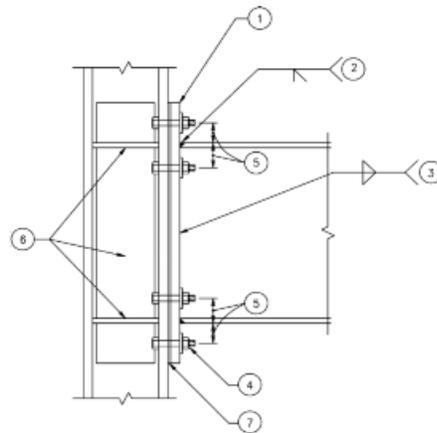


Fig. 6. Conexión con placa de extremo no atiesada.
(Bolted Unstiffened End Plate Connection, BUPEP,
FEMA 350, 2000)

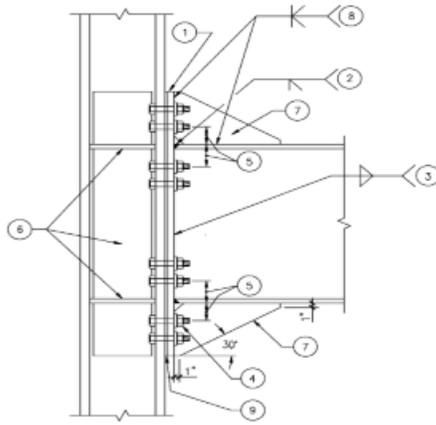


Fig. 7. Conexión con placa de extremo atiesada.
(Bolted Unstiffened End Plate Connection, BUEP,
FEMA 350, 2000)

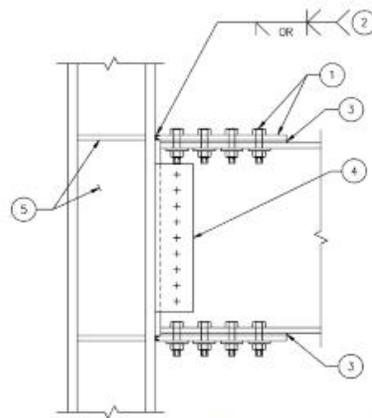


Fig. 8. Conexión con cubreplaca pernado (Bolted
Flange Plate Connection, BFP, FEMA 350, 2000)

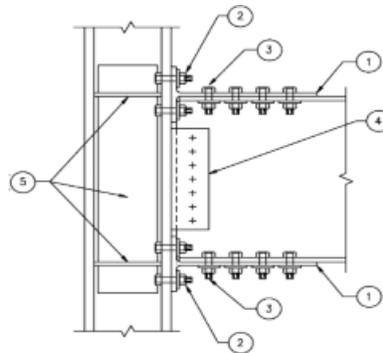


Fig. 9. Conexión con Te doble (parcialmente
restringida, Double Split Tee Connection, (DST,
FEMA 350, 2000)

Luego de la publicación de estas recomendaciones y normas, durante el año 2010 se produjeron cambios en la normatividad internacional, al publicarse las Provisiones Sísmicas para Construcciones de Acero Estructural. AISC 341-10. Estos cambios se vieron reflejados al entrar en vigencia el Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (NSR 10).

Nuevamente en el año 2016 se tiene una actualización con la emisión de la norma AISC 341-16, cuyas modificaciones se verán reflejados en el reglamento colombiano próximo a publicarse a la fecha del presente trabajo.

De igual manera ese mismo año tuvo lugar la actualización de las “Conexiones Precalificadas para Pórticos de Acero Resistentes a Momentos con Capacidad Moderada o Especial de Disipación de Energía para Aplicaciones Sísmicas” (Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, AISC 358-16)

A manera de resumen las conexiones precalificadas para pórticos resistentes a momento con capacidad intermedia y especial de energía, se presentan en la tabla 1, indicándose la ubicación de cada conexión en dicho reglamento.

Tipo de conexión	Capítulo	Sistemas
De sección de viga reducida (RBS*)	5	PRM-DES, PRM-DMO
De placa de extremo no rigidizada (BUEEP*)	6	PRM-DES, PRM-DMO
De placa de extremo rigidizada (BSEEP*)	6	PRM-DES, PRM-DMO
De placas empernadas a las aletas (BFP*)	7	PRM-DES, PRM-DMO
De aletas no reforzadas soldadas-alma soldada (WUF-W*)	8	PRM-DES, PRM-DMO
Kaiser Bolted Bracket (KBB*)	9	PRM-DES, PRM-DMO
ConXtech ConXL	10	PRM-DES, PRM-DMO
SidePlate	11	PRM-DES, PRM-DMO
Simpson Strong-Tie Strong Frame	12	PRM-DES, PRM-DMO
Doble T	13	PRM-DES, PRM-DMO
SlottedWeb	14	PRM-DES, PRM-DMO
<i>*Por su nombre en inglés</i>		

Tabla: conexiones a momento precalificadas según el AISC 358-16

TIPO	CAPÍTULO	SISTEMA
Conexiones a momento PTE a PTE	F.2.11.3	Circulares y rectangulares
Conexiones a momento TR (DMI)	F.3.5.1	PMR-DMI
.Conexiones a momento PR DMI)	F.3.5.1	PMR-DMI
Conexiones a momento con capacidad de disipación de energía moderada.	F.3.5.2.6	PMR-DMO
Conexiones a momento con capacidad de disipación de energía especial	F.3.5.3.6	PRM-DES
Conexiones resistentes a momentos compuestos con capacidad de energía mínima	F.3.7.1.6	PRMC-DMI
Conexiones resistentes a momentos compuestos con capacidad de energía moderada	F.3.7.2.6	PRMC-DMO
Conexiones resistentes a momentos compuestos con capacidad de energía especial	F.3.7.3.6	PRMC-DES
Conexiones resistentes a momentos parcialmente restringidos.	F.3..7.4.6	PRMC-PR

Tabla: conexiones a momento precalificadas acorde a la NSR-10

CONEXIÓN	SISTEMA	AÑO	AUTORES
Uniones a momento en perfiles de lámina delgada doblados en frío.	DMI, DMO	2004	A. Gallo, J. Narváez
Conexión tubo-viga reforzada.	DES	2004	J. Posada, C. Pabón
Conexión a columna laminada soldada con cubreplacas.	DES	2005	H. Acero
Conexiones para pórticos de lámina delgada	DMI	2006	E. López
Conexiones para pórticos de lámina delgada 2da parte	DMI, DMO	2007	S. Villar
Conexión rígida de una viga i y una columna tubular rellena de concreto	DES	2008	M. Uribe
Conexión a columna laminada soldada con cubreplacas y sección reducida	DES	2011	C. Cerón
Conexión a momento empleando vigas de alma expandida	DMO	2011	E. Ramírez
Conexión metálica rígida viga i – columna compuesta embebida	DES	2012	C. Torres
Conexiones de perfiles i de acero - viga conectada al eje débil de la columna	DES	2015	C. Andrade
DES: Disipación Especial de Energía DMO: Disipación Moderada de Energía DMI: Disipación Mínima de Energía			

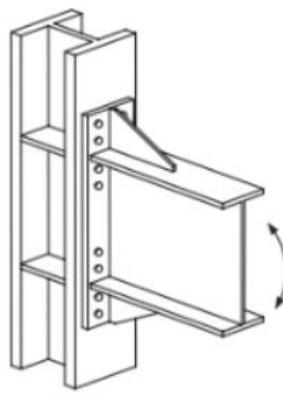
Tabla: Conexiones precalificadas para PRM hechas en Colombia.

4 Metodología

A continuación, se plantearán las generalidades y limitaciones para cada uno de los componentes de la conexión a momento de placa de extremo rigidizada que están provistos por la normativa AISC del año 2016, es de considerar que la AISC ha emitido actualizaciones posteriores a estas, pero el presente trabajo se rige por las de ese año ya que son la que sirven como base a la norma colombiana próxima a emitirse a la fecha del presente trabajo.

Generalidades

Las conexiones con placa de extremo empernada se conforman soldando la viga a una placa de extremo que a su vez se conecta con pernos a la aleta de la columna. En este trabajo se aborda la conexión de placa de extremo que se muestra en la Fig. C, la cual está precalificada bajo las Provisiones Sísmicas del AISC dentro de las limitaciones de esta norma.



(c)

En el comportamiento de este tipo de conexión pueden primar diferentes estados límites, que incluyen la fluencia a flexión de la sección de la viga, la fluencia a flexión de las placas de extremo, la fluencia de la zona de panel de la columna, la rotura por tracción de los pernos de la placa de extremo, la rotura por corte de los pernos de la placa de extremo, o la rotura de distintas juntas soldadas. Los criterios de diseño buscan que los elementos de las conexiones tengan la resistencia suficiente para asegurar que la deformación inelástica de la conexión se alcance por fluencia de la viga.

Límites de la precalificación

La siguiente tabla presenta un resumen del rango de parámetros que han sido probados satisfactoriamente. Todos los elementos de la conexión deberán estar dentro de los rangos presentados.

Parámetro	Cuatro pernos sin rigidizadores (4E)		Cuatro pernos con rigidizadores (4ES)		Ocho pernos con rigidizadores (8ES)	
	Máximo mm (in.)	Mínimo mm (in.)	Máximo mm (in.)	Mínimo mm (in.)	Máximo mm (in.)	Mínimo mm (in.)
t_{bf}	19.1 $\left(\frac{3}{4}\right)$	9.5 $\left(\frac{3}{8}\right)$	19.1 $\left(\frac{3}{4}\right)$	9.5 $\left(\frac{3}{8}\right)$	25.4 (1)	14.3 $\left(\frac{9}{16}\right)$
b_{bf}	235 $\left(9\frac{1}{4}\right)$	152 (6)	229 (9)	152 (6)	311 $\left(12\frac{1}{4}\right)$	190 $\left(7\frac{1}{2}\right)$
d	1400 (55)	349 $\left(13\frac{3}{4}\right)$	610 (24)	349 $\left(13\frac{3}{4}\right)$	914 (36)	457 (18)
t_p	57.2 $\left(2\frac{1}{4}\right)$	12.7 $\left(\frac{1}{2}\right)$	38 $\left(1\frac{1}{2}\right)$	12.7 $\left(\frac{1}{2}\right)$	63.5 $\left(2\frac{1}{2}\right)$	19.1 $\left(\frac{3}{4}\right)$
b_p	273 $\left(10\frac{3}{4}\right)$	178 (7)	273 $\left(10\frac{3}{4}\right)$	178 (7)	381 (15)	229 (9)
g	152 (6)	102 (4)	152 (6)	83 $\left(3\frac{1}{4}\right)$	152 (6)	127 (5)
p_{fi}, p_{fo}	114 $\left(4\frac{1}{2}\right)$	38 $\left(1\frac{1}{2}\right)$	140 $\left(5\frac{1}{2}\right)$	44 $\left(1\frac{3}{4}\right)$	51 (2)	41 $\left(1\frac{5}{8}\right)$
p_b	-	-	-	-	95 $\left(3\frac{3}{4}\right)$	89 $\left(3\frac{1}{2}\right)$
b_{bf} = ancho de la aleta de la viga, mm b_p = ancho de la placa de extremo, mm d = peralte de la viga que se conecta, mm g = distancia horizontal entre pernos, mm p_b = distancia vertical entre las hileras de pernos interiores y entre las hileras de pernos exteriores en una conexión 8ES, mm p_{fi} = distancia vertical desde la cara interior de la aleta a tracción de una viga hasta la hilera interior de pernos más cercana, mm p_{fo} = distancia vertical desde la cara exterior de la aleta a tracción de una viga hasta la hilera exterior de pernos más cercana, mm t_{bf} = espesor de la aleta de la viga, mm t_p = espesor de la placa de extremo, mm						

1. Límites para las vigas

Las vigas deberán satisfacer las siguientes limitaciones:

(1) Las vigas deberán ser miembros laminados de aleta ancha o miembros ensamblados en I que cumplan los requisitos de la Sección 2.3. En los extremos conectados a momento de secciones

ensambladas soldadas, dentro de una distancia por lo menos igual al peralte de la viga o a tres veces el ancho de la aleta, la que sea menor, el alma y las aletas de la viga deberán conectarse usando ya sea una soldadura acanalada de penetración completa (CJP) o un par de soldaduras de filete que tengan cada una un tamaño del 75% del espesor del alma de la viga, pero no menos de 6 mm (¼ in.). Para el resto de la viga, el tamaño de la soldadura no deberá ser menor que el requerido para lograr la transferencia de cortante del alma a las aletas.

- (2) El peralte de la viga, d , se debe limitar a los valores presentados en la Tabla anterior.
- (3) No hay límite para el peso por unidad de longitud de las vigas.
- (4) El espesor de la aleta de la viga se debe limitar a los valores presentados en la Tabla 6.1.
- (5) La relación entre la luz libre y el peralte de la viga deberá estar dentro de los siguientes límites:
 - a. Para sistemas PRM-DES, igual o mayor a 7.
 - b. Para sistemas PRM-DMO, igual o mayor a 5.
- (6) Las relaciones de ancho a espesor para las aletas y el alma de la viga deberán cumplir con los requisitos de las Provisiones Sísmicas del AISC.
- (7) Se deberá proporcionar arriostramiento lateral a las vigas de acuerdo con las Provisiones Sísmicas del AISC.
- (8) La zona protegida se deberá determinar de la siguiente forma:
 - a. Para conexiones de placa de extremo extendida sin rigidizadores: la porción de la viga comprendida entre la cara de la columna y una distancia igual al peralte de la viga o a tres veces el ancho de la aleta de la viga, la que sea menor, medida desde dicha cara.
 - b. Para conexiones de placa de extremo extendida con rigidizadores: la porción de la viga comprendida entre la cara de la columna y una distancia igual a la ubicación del extremo del rigidizador más la mitad del peralte de la viga o a tres veces el ancho de la aleta de la viga, la que sea menor.

2. Límites para las columnas

Las columnas deberán satisfacer las siguientes limitaciones:

- (1) Las columnas deberán ser en cualquiera de los perfiles laminados o secciones ensambladas permitidos en la Sección 2.3. de la AISC 358-16
- (2) La placa de extremo se conectará a la aleta de la columna.

(3) El peralte de la sección transversal de una columna laminada se limitará como máximo al de un perfil W920 (W36). El peralte de una columna ensamblada de aleta ancha no excederá al correspondiente a una sección laminada. Las columnas cruciformes con aletas no deberán tener un ancho o un peralte mayor que el peralte permitido para secciones laminadas.

(4) No hay límite para el peso por unidad de longitud de las columnas.

(5) No hay requisitos adicionales para el espesor de las aletas.

(6) Las relaciones de ancho a espesor de las aletas y el alma de la columna deberán cumplir los requisitos de las Provisiones Sísmicas del AISC.

(7) El arriostramiento lateral de las columnas deberá cumplir los requisitos de las Provisiones Sísmicas del AISC.

Límites para las relaciones entre los parámetros de la columna y de la viga

Las conexiones viga-columna deberán satisfacer las siguientes limitaciones:

(1) Las zonas de panel se deberán ajustar a los requisitos de las Provisiones Sísmicas del AISC.

(2) Las relaciones entre los momentos en la columna y en la viga se deben ajustar a los requisitos de las Provisiones Sísmicas del AISC.

PLACAS DE CONTINUIDAD

Las placas de continuidad deberán satisfacer las siguientes limitaciones:

(1) La necesidad de usar placas de continuidad se deberá determinar de acuerdo a la Sección 6.8 de la AISC 358-16

(2) Cuando se suministren, las placas de continuidad se deberán ajustar a los requisitos de la Sección 6.8 de la AISC 358-16

(3) Las placas de continuidad se deberán unir a las columnas a través de soldadura de acuerdo con las Provisiones Sísmicas del AISC.

Excepción: se permite que las placas de continuidad con un espesor menor o igual a 10 mm o 3/8 in, se suelden a las aletas de las columnas usando soldaduras de filete por ambos lados. La resistencia requerida de las soldaduras de filete no deberá ser menor que $F_y A_c$, donde A_c se define como las áreas de contacto entre la placa de continuidad y las aletas de la columna a las que se conectan aletas de vigas, y F_y se define como el esfuerzo de fluencia mínimo especificado de la placa de continuidad.

Pernos

Los pernos se deberán ajustar a los requisitos del Capítulo 4 de la AISC 358-16

Distancias a pernos y espaciamiento entre las hileras

El valor mínimo de la distancia desde una cara de una aleta de la viga o de una placa de continuidad hasta la hilera de pernos más cercana es el diámetro del perno más 13 mm ($\frac{1}{2}$ in.) para pernos de hasta 25.4 mm (1 in.) de diámetro, y el diámetro del perno más 19 mm ($\frac{3}{4}$ in.) para pernos de mayores diámetros. Los valores pfi y pfo corresponden a las distancias desde cada cara de la aleta de la viga hasta la línea central de la hilera de pernos más cercana, tal como se muestra en las Fig. 6.2 a 6.4. Las distancias de paso psi y pso corresponden a las distancias desde cada cara de la placa de continuidad hasta la línea central de la hilera de pernos más cercana, tal como se muestra en las Fig. 6.2 a 6.4. AISC 358-16

El espaciamiento, pb , corresponde a la distancia vertical entre las hileras de pernos interiores y entre las hileras de pernos exteriores en una conexión a momento de placa de extremo 8ES, tal como se presenta en la Fig. 6.4. AISC 358-16 El espaciamiento entre las hileras de pernos deberá ser como mínimo $2 \frac{2}{3}$ veces el diámetro del perno.

Ancho de la placa de extremo

El ancho de la placa de extremo deberá ser mayor o igual que el ancho de la aleta de la viga conectada. El ancho efectivo de la placa de extremo no se deberá tomar mayor que el ancho de la aleta de la viga conectada más 25 mm (1 in.).

Rigidizadores de la placa de extremo

Las dos conexiones de placa de extremo extendida con rigidizadores, Fig. 6.1(b) y (c), requieren rigidizadores soldados entre la aleta de la viga conectada y la placa de extremo. La longitud mínima del rigidizador, Lst , deberá ser:

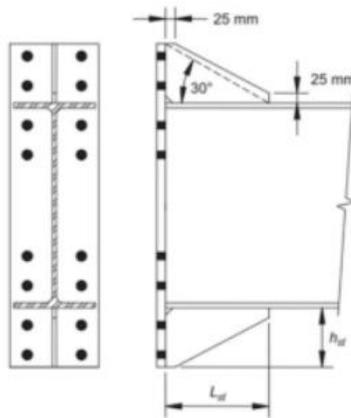
$$Lst = hst / \tan 30^\circ$$

donde hst corresponde a la altura del rigidizador, igual a la altura de la placa de extremo medida desde la cara exterior de la aleta de la viga hasta el borde de la placa de extremo, como se muestra en la Fig. 6.5. AISC 358-16

Las placas rigidizadoras deberán terminar en la aleta de la viga y en el borde de la placa de extremo con arranques de 25 mm (1 in.) de largo como mínimo. El rigidizador deberá tener un corte en la

esquina donde se encuentran la aleta de la viga y la placa de extremo para proporcionar un espacio libre entre el rigidizador y la soldadura de la aleta de la viga.

Cuando la viga y los rigidizadores de la placa de extremo tengan las mismas resistencias, el espesor de los rigidizadores deberá ser mayor o igual que el espesor del alma de la viga. Si la viga y los rigidizadores de la placa de extremo tienen materiales de diferentes resistencias, el espesor del rigidizador no deberá ser menor que el espesor del alma de la viga multiplicado por la relación entre los esfuerzos de fluencia de los materiales de la viga y de la placa rigidizadora.



Disposición del rigidizador de placa de extremo y geometría para la 8ES. La geometría para la 4ES es similar.

Calzas de acero

Se permite el uso de calzas de acero (Fig. 6.6) en la parte superior o inferior de la conexión y en

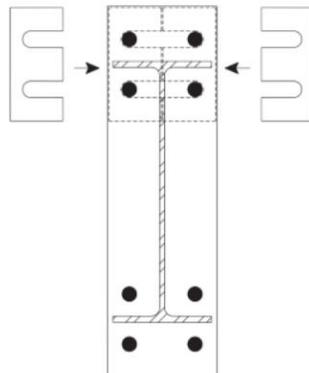


Fig. 6.6. Uso típico de calzas de acero

uno o ambos lados de la misma, sujeto a las limitaciones de la Especificación RCSC.

Detalles de soldadura

La soldadura de la viga a la placa de extremo deberá cumplir con las siguientes limitaciones:

- (1) No se deberán usar agujeros de acceso para soldadura.
- (2) La junta entre la aleta de la viga y la placa de extremo deberá ejecutarse usando una soldadura acanalada CJP sin respaldo. La soldadura acanalada CJP deberá ejecutarse de tal forma que la raíz de la soldadura esté del lado de la aleta asociado con el alma de la viga. Por la cara interior de la aleta se deberá tener una soldadura de filete de 8 mm (5/16 in). Estas soldaduras serán de demanda crítica.
- (3) La junta entre el alma de la viga y la placa de extremo se deberá ejecutar usando ya sea soldaduras de filete o soldaduras acanaladas CJP. Cuando se usen soldaduras de filete, estas deberán dimensionarse para desarrollar la resistencia total del alma de la viga en tracción desde la cara interior de la aleta hasta 150 mm (6 in.) más allá de la línea de pernos más alejada de la aleta de la viga.
- (4) No se requiere remover el metal de soldadura de la raíz en la zona de la aleta localizada directamente por encima y por debajo del alma de la viga, sobre una longitud igual a $1.5k_1$. En esta zona se permite una soldadura acanalada PJP sobre la profundidad total.
- (5) Todas las juntas entre placas de extremo y rigidizadores deberán ejecutarse usando soldaduras acanaladas CJP.

Excepción: Cuando el rigidizador tenga un espesor de 10 mm (3/8 in.) o menor, se permitirá el uso de soldaduras de filete que desarrollen la resistencia del rigidizador.

7 Resultados

En los resultados se comunican los hallazgos y descubrimientos del estudio. Se incluyen tablas, figuras, diagramas y demás material demostrativo. Al narrar descriptivamente una figura, tabla, etc., en un párrafo, puedes insertar una referencia cruzada, es decir, un hipervínculo al elemento mencionado dentro o fuera de paréntesis, ejemplos: estos resultados se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Igualmente, los datos son validados con otros instrumentos (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Lineamientos que se establecen en la nueva versión de las Normas APA séptima edición (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La producción

intelectual institucional se publica en el Repositorio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Referencias

TORRES T., C M. CRUZ H, R.C. Estado del arte en calificación de conexiones rígidas metálicas viga columna. En: Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, vol. 2, núm. 20, 2012, pp. 17-27. ISSN: 1692-7257.

Merino Mora, V. J. (2022). Análisis comparativo de conexiones precalificadas con tipología soldadas y empernadas para un sistema SMF en un edificio de estructura metálica (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas).

Soria Ticona, M. Á., & Guillermo Flores, R. M. (2019). Ensayos Comparativos de Tracción en Conexiones Metálicas Atornilladas de Acero Estructural.

Andrés, C., Rojas, D., Garza Vasquez, L., & Hernández, R. C. (s. f.). CONEXIONES PRECALIFICADAS EN COLOMBIA.

Andrés Iglesias, G. (2021). Cálculo de uniones en estructura metálica. Comparación entre atornilladas y soldadas aplicadas a un pórtico estándar de una nave industrial. Universidad de Valladolid.

Charazo, C. (2021, marzo 21). Tipos de conexiones para estructuras de Acero. <https://www.gerdaucorsa.com.mx/blog/tipos-de-conexiones-para-estructuras-de-acero#:~:text=Conjunto%20de%20elementos%20que%20se,alta%20resistencia%20y%20Fo%20soldadura>.

Mauricio Torres Torres, C., & Cruz Hernández, R. (s. f.). STATE OF THE ART IN QUALIFICATION OF CONNECTIONS RIGID METALLIC BEAM COLUMN ESTADO DEL ARTE EN CALIFICACIÓN DE CONEXIONES RÍGIDAS METÁLICAS VIGA COLUMNA.