



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISEÑO SISMORRESISTENTE Y MODELACIÓN NÚMÉRICA MEDIANTE ANÁLISIS
CBFEM DE CONEXIONES DE PLANCHA EXTREMA Y SECCIÓN DE VIGA REDUCIDA
SEGÚN NORMATIVA AISC**

POR

Felipe Pavez Sepúlveda

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniero Civil

Profesor Guía
Rodrigo Silva Muñoz

Septiembre 2025
Concepción (Chile)

© 2025 Felipe Pavez Sepúlveda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia, quienes estuvieron en los momentos más difíciles de mi proceso académico y personal, fueron parte de un viaje largo y con complicaciones, y el apoyo que sentí en todo momento fue incondicional. Hago especial mención a mi madre Fabiola, sostengo firmemente que sin su apoyo y sacrificio en los momentos más complicados todo hubiese sido mucho más difícil. A mis amigos y amigas que conocí en este largo camino universitario, gracias por haber sido siempre un apoyo incondicional en los días difíciles y un panorama entretenido en el día a día.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco personalmente a mi profesor patrocinante, profesor Rodrigo Silva Muñoz, por la sugerencia de la temática de la presente memoria y su mentoría a lo largo de todo mi proceso académico, su asesoramiento, consejos y tiempo fue fundamental para el desarrollo de este documento.

Extiendo también agradecimientos a mi profesor de comisión, profesor Victor Aguilar Vidal, quien fue un pilar fundamental para orientar aspectos finales de esta memoria de titulación, además de contribuir con mi desarrollo profesional.

RESUMEN

La implementación de conexiones precalificadas de plancha extrema y viga de sección reducida en el diseño común de estructuras de acero en Chile no goza de tanta popularidad como otros tipos de conexiones de momento, siendo incluso evitada debido en parte a motivos relacionados con la rigidez de este tipo de conexiones. La última documentación disponible para las conexiones de plancha extrema es de origen reciente (2023), y actualiza las guías de diseño de años anteriores del año 2003 realizadas con otras ediciones de los estándares de diseño, implicando que, aquellos quienes hayan diseñado conexiones de este tipo requieran una actualización con respecto al nuevo estándar.

La diversa documentación de ambos tipos de uniones es compilada en programas especializados en el diseño de conexiones, como es el caso de IdeaStatica, facilitando procesos de diseño y reduciendo el tiempo necesario para llevarlos a cabo. Tomando en cuenta los precedentes mencionados, surgen como objetivos la necesidad de estudiar y recopilar la información suficiente para el desarrollo de estas conexiones, desarrollar herramientas de cálculo que faciliten la implementación de esa información y, finalmente, contrastar los resultados de diseño obtenidos con el *software* disponible en el mercado.

Para los análisis se hace uso de ejemplos provenientes directamente desde la documentación oficial, y se contrasta con los resultados de diseño entregados por IdeaStatica, en particular, los obtenidos en el análisis de esfuerzo/deformación y de rigidez. Finalmente, los resultados apuntan hacia una tendencia más conservadora en el diseño realizado con IdeaStatica, aportando una validación más al uso del programa.

ABSTRACT

The usage of prequalified connections like the End-Plate moment connections or the Reduced Beam Section is not a common practice in the Chilean industry, even being avoided due to the unclear rigidity of the connection. The latest documentation available for End-Plate moment connections has been released recently (2023) and updates the design guides from past years (2003) developed with different editions from the same design standards, implying that there's a necessity for updating the old design process for the people that used the older standard.

The diversity in the information available for both connections is compiled in specialized connections design software, as is the case with IdeaStatica, making the design process easier and reducing the required time to carry them out. Considering the precedents mentioned above, the objectives show up based on the necessity of the study and collect the required information for the implementation of these types of connections, using self-developed calculation tools to make easier the checking process and finally, to contrast the design results between the tools generated and the available software.

The examples used in the comparative process were provided by the official documentation, and it is contrasted with the IdeaStatica's design results, in particular, the stress/deformation and the rigidity type of analysis. Finally, the results point to a more conservative design tendency using IdeaStatica, providing one more validation to the program.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1 Objetivo general	1
1.2.2 Objetivos específicos.....	1
1.3. Alcance del estudio	1
1.4. Plan de trabajo.....	2
1.5. Principales resultados	2
1.6. Organización de la memoria de título	2
CAPÍTULO 2: CONEXIONES DE MOMENTO	3
2.1. Introducción	3
2.2. Marco teórico y normativo.....	3
2.3. Tipos de Conexiones.	3
2.4. Conclusiones	5
CAPÍTULO 3: CONEXIONES DE PLANCHA EXTREMA.....	6
3.1. Introducción	6
3.2. Tipos de conexiones de plancha extrema.....	6
3.3. Limitaciones de diseño.....	6
3.3.1 Limitaciones de la viga	7
3.3.2 Limitaciones de la columna.....	9
3.3.3 Planchas de continuidad	10
3.3.4 Detalles geométricos de la conexión.....	10
3.3.5 Detalles de soldaduras	13
3.4. Procedimiento de diseño	14
3.4.1 Diseño de la plancha extrema y los pernos	14

3.4.2	Diseño por el lado de la columna	22
3.5.	Conclusiones	27
CAPÍTULO 4: CONEXIONES CON SECCIÓN DE VIGA REDUCIDA		28
4.1.	Introducción	28
4.2.	Tipo de conexión.....	28
4.3.	Limitaciones de diseño.....	29
4.3.1	Limitaciones de la viga	29
4.3.2	Limitaciones de la columna.....	30
4.3.3	Limitaciones en la relación columna-viga	30
4.3.4	Limitaciones en la soldaduras	31
4.3.5	Limitaciones de la conexión entre la viga y la columna	31
4.4.	Procedimiento de diseño	32
4.5.	Conclusiones	37
CAPÍTULO 5: DISEÑO DE CONEXIONES CON IDEASTÁTICA		38
5.1.	Introducción	38
5.2.	IdeaStática: Modelado de conexiones mediante elementos finitos.....	38
5.3.	Casos de estudio	39
5.4.	Consideraciones de modelación	40
5.5.	Resultados análisis esfuerzo/deformación	43
5.6.	Análisis de rigidez.....	51
5.7.	Conclusiones	56
CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		57
GLOSARIO		57
REFERENCIAS		61
ANEXO 1.1 CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE....		63
ANEXO 2.1 PARÁMETROS DE LÍNEAS DE FLUENCIA DE LA PLANCHA EXTREMA Y DEL ALA DE LA COLUMNA		64
ANEXO 3.1 PLANILLAS DE DISEÑO.....		67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Perfiles que cumplen con limitaciones paramétricas para vigas y criterios de sección altamente dúctil para $F_y b = 344 \text{ MPa}$	8
Tabla 3.2 Limitaciones paramétricas de conexiones precalificadas para la viga.....	9

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Tipos de conexión representados en un diagrama momento rotación $M-\theta$	4
Figura 3.1 Configuraciones de conexiones de plancha extrema: (a) Conexión de 4 pernos no atiesada, 4E y (b) Conexión de 4 pernos atiesada, 4ES..	6
Figura 3.2 Extensión de la zona protegida para conexiones tipo: (a) 4E y (b) 4ES.....	9
Figura 3.3 Geometría y parámetros para conexión de momento con plancha extrema no atiesada 4E.	11
Figura 3.4 Geometría y parámetros para conexión de momento con plancha extrema atiesada 4ES..	11
Figura 3.5 Disposición del atiesador en una conexión de plancha extrema 8ES.	13
Figura 3.6 Detalles de soldadura entre la viga y la plancha extrema..	13
Figura 3.7 Detalles de soldadura en la viga y columna para perfiles soldados.	14
Figura 3.8 Valores de h_1 y h_2 en una conexión no atiesada..	17
Figura 4.1 Conexión típica de sección de viga reducida (RBS).....	28
Figura 4.2 Detalles de los agujeros de acceso para soldadura de acuerdo con ANSI/AISC 360-16.	31
Figura 4.3 Vista en planta de disposición típica de cortes de esquina en planchas de continuidad... ..	36
Figura 5.1 Ejemplo de conexión de plancha extrema no atiesada (dimensiones en pulgadas).....	39
Figura 5.2 Ejemplo de conexión de plancha extrema atiesada (Dimensiones en pulgadas)..	39
Figura 5.3 Ejemplo de conexión de sección de viga reducida (dimensiones en pulgadas).....	40
Figura 5.4 Modelo de conexión de plancha extrema no atiesada.....	41
Figura 5.5 Modelo de conexión de plancha extrema atiesada.....	42
Figura 5.6 Modelo de conexión de sección de viga reducida.	42
Figura 5.7 Conexión tipo 4E. En verde los elementos capaces de resistir las demandas aplicadas. En rojo aquellos que requieren revisión.	43
Figura 5.8 Diagrama de esfuerzos para conexión de tipo 4E, MPa.	43
Figura 5.9 Diagrama de deformaciones plásticas para conexión tipo 4E. Los elementos en blanco se mantienen en el rango elástico.	44
Figura 5.10 Conexión tipo 4ES. En verde los elementos capaces de resistir las demandas aplicadas. En rojo aquellos que requieren revisión.	44
Figura 5.11 Diagrama de esfuerzos para conexión de tipo 4ES, MPa.	45
Figura 5.12 Diagrama de deformaciones plásticas para conexión tipo 4ES. Los elementos en blanco se mantienen en el rango elástico.....	45

Figura 5.13 Conexión de sección de viga reducida. En verde los elementos capaces de resistir las demandas aplicadas. En rojo aquellos que requieren revisión	46
Figura 5.14 Diagrama de esfuerzos para conexión de sección de viga reducida, MPa.	46
Figura 5.15 Diagrama de deformaciones plásticas para conexión de sección de viga reducida. Los elementos en blanco se mantienen en el rango elástico.	47
Figura 5.16 Conexión tipo 4E tras las modificaciones realizadas.....	48
Figura 5.17 Conexión tipo 4E tras la modificaciones, diagrama de esfuerzos, MPa.....	49
Figura 5.18 Conexión tipo 4E tras las modificaciones realizadas. Diagrama de deformaciones plásticas.	49
Figura 5.19 Conexión tipo 4ES tras el cambio de espesor de los atiesadores.....	50
Figura 5.20 Conexión tipo 4ES tras la modificación realizada al espesor de los atiesadores, diagrama de esfuerzos, MPa.	50
Figura 5.21 Conexión tipo 4ES tras las modificación realizada al espesor de los atiesadores. Diagrama de deformaciones plásticas.....	51
Figura 5.22 Set de ensayos para las probetas	52
Figura 5.23 Distribución lineal de las fuerzas en los pernos para un momento aplicado.	52
Figura 5.24 Diagrama de momento versus rotación para la conexión 4ES.	55
Figura 5.25 Diagrama de momento versus rotación para la conexión 4ES haciendo uso de IdeaStatica.	55

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación

La motivación principal que orientó y permitió el desarrollo del presente trabajo radica en el poco uso que tienen tanto la conexión de plancha extrema como la conexión de sección de viga reducida en Chile en la actualidad, contrastando con otros países como es el caso de Estados Unidos donde las conexiones mencionadas anteriormente gozan de mayor popularidad, al punto de ser un estándar a la hora de diseñar estructuras de acero.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

El objetivo general es:

Evaluar el comportamiento de conexiones de momento de plancha extrema (*End-Plate*) y de sección de viga reducida (*RBS*) de acuerdo con la literatura, normativa y *software* correspondiente.

1.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos que contribuirán al desarrollo del objetivo general son:

- Recopilar información teórica y normativa relacionada con las conexiones a realizar que permita establecer un marco conceptual del trabajo.
- Diseñar las conexiones de plancha extrema y de sección de viga reducida mediante planillas de cálculo basadas en la normativa vigente.
- Modelar numéricamente por medio del método CBFEM las conexiones de plancha extrema y de sección de viga reducida.
- Contrastar los valores de diseño obtenidos con el *software* comercial IdeaStática

1.3. Alcance del estudio

El alcance está limitado en la información disponible en las disposiciones normativas del AISC (*American Institute of Steel Construction*) en conjunto con las guías de diseño del mismo autor.

1.4. Plan de trabajo

El desarrollo de este trabajo se dividió en cinco etapas:

1. Revisión bibliográfica de documentación relacionada con conexiones de plancha extrema y de sección de viga reducida de acuerdo con normativa provista por el *AISC*.
2. Implementación de la documentación en planillas de cálculo.
3. Revisión de la documentación del *software* IdeaStatica
4. Modelado de los ejemplos a desarrollar y análisis de resultados entregados.
5. Comparativa de resultados obtenidos mediante planillas de cálculo versus modelado de elementos finitos.

1.5. Principales resultados

El proceso de desarrollo de conexiones requiere de herramientas de cálculo para las numerosas verificaciones que, por normativa, se deben cumplir. El desarrollo de estas herramientas de cálculo, sumado a una comparativa directa con *software* comercial disponible permite un mayor entendimiento de tanto el uso del programa como del proceso de diseño de las conexiones seleccionadas.

1.6. Organización de la memoria de título

El documento se organiza en seis capítulos, en el primer capítulo se indica la motivación, los objetivos, el alcance, el plan de trabajo y los principales resultados obtenidos. En el segundo capítulo se define el concepto de conexiones de momento y los tipos de conexiones precalificadas a realizar de acuerdo con el marco normativo establecido. A lo largo del capítulo 3 y 4 se estudian las conexiones de plancha extrema (*End-plate Moment Connections*) y de sección de viga reducida (*Reduced Beam Section, RBS*), abordando apartados como las distintas limitaciones y requisitos que se deben cumplir y los pasos a seguir para lograr un diseño adecuado. En el capítulo 5 se explican las consideraciones necesarias para realizar el análisis mediante el *software* IdeaStatica, presentando los resultados obtenidos para los distintos tipos de conexiones permitiendo así el contraste entre los valores de diseño obtenidos. Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las conclusiones del desarrollo del trabajo y se da pie a futuras líneas de investigación relacionadas con el tema abordado en la presente memoria.

CAPÍTULO 2: CONEXIONES DE MOMENTO

2.1. Introducción

Antes de explicar qué tipo de conexiones van a ser desarrolladas, es necesario conocer qué es una conexión de momento de acuerdo con el marco teórico y normativo dispuesto por el *AISC*.

2.2. Marco teórico y normativo

El marco teórico y normativo está compuesto por los documentos emitidos por el *AISC*. A lo largo del documento se hará mención principalmente de las siguientes normativas con su año de publicación respectivo dependiendo del tipo de conexión.

- *ANSI/AISC 341: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*
- *ANSI/AISC 358: Prequalified Connections for Special and Intermediate Moment Frames for Seismic Applications*
- *ANSI/AISC 360: Specification for Structural Steel Buildings*
- *ANSI/AISC: Design Guide 39 End-Plate Moment Connections*

2.3. Tipos de Conexiones.

Las conexiones en una estructura se clasifican en base a su rigidez. La rigidez de una conexión es la resistencia a la rotación de una conexión para un momento aplicado, y es representada mediante un gráfico de momento-rotación ($M-\theta$). La pendiente inicial de este diagrama (K_s en la Figura 2.1) es considerada como un parámetro que indica la rigidez rotacional de la conexión.

Los tipos de conexiones (clasificados según su rigidez) que existen son:

- Conexiones simples: Conexiones capaces de transmitir corte y que presentan una pequeña resistencia a la rotación. En la práctica dicha resistencia es considerada nula para efectos de cálculo.
- Conexiones parcialmente restringidas (PR): Conexiones capaces de transmitir momento en las cuales la rotación entre los miembros conectados no es despreciable. Cabe destacar que en la

práctica nacional este tipo de conexiones no tienen permitido su uso en marcos rígidos sismorresistentes. Finalmente, la norma NCh 2369Of.2025 en el punto 8.7.1 prohíbe el uso de este tipo de conexiones en Chile.

- Conexiones completamente restringidas (FR): Conexiones capaces de transmitir momento con una rotación despreciable entre los miembros conectados.

Cada tipo de conexión se ve representada en la siguiente figura.

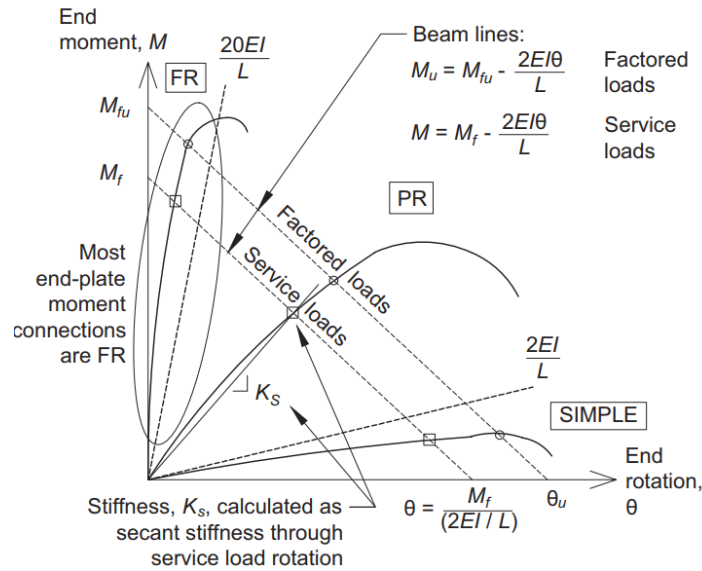


Figura 2.1 Tipos de conexión representados en un diagrama momento rotación M-θ. Fuente: Design Guide 39: End Plate Moment Connections, AISC.

Los límites de rigidez que permiten clasificar los tipos de conexión son los siguientes.

- Conexiones completamente restringidas (FR)

$$K_s > \frac{20EI_b}{L} \tag{2.1}$$

- Conexiones parcialmente restringidas (PR)

$$\frac{2EI_b}{L} < K_s < \frac{20EI_b}{L} \tag{2.2}$$

- Conexiones simples

$$K_s < \frac{2EI_b}{L} \tag{2.3}$$

Donde:

- K_s : Rigidez de la conexión.
- I_b : Inercia de la viga, mm^4 .
- E : Módulo de elasticidad del acero que compone la viga, MPa.
- L : Luz libre entre columnas, mm.

Las conexiones diseñadas de acuerdo con el documento *ANSI/AISC 358* se consideran como precalificadas, y, en particular, las revisadas en este documento están clasificadas como conexiones de momento.

2.4. Conclusiones

Ahora que son conocidos los tipos de conexiones, se abordarán en los siguientes capítulos las conexiones de plancha extrema (*End-Plate Moment Connection*) y la de viga de sección reducida (*Reduced Beam Section, RBS*).

CAPÍTULO 3: CONEXIONES DE PLANCHA EXTREMA

3.1. Introducción

Este capítulo explica los procedimientos y limitaciones de diseño de las de plancha extrema precalificadas.

3.2. Tipos de conexiones de plancha extrema

Se distinguen dos tipos de conexiones de plancha extrema con cuatro pernos, aquellas que son atiesadas (denotadas por la notación 4ES) y las que no son atiesadas (conocidas como 4E). En la siguiente figura se puede observar la diferencia entre ambas.

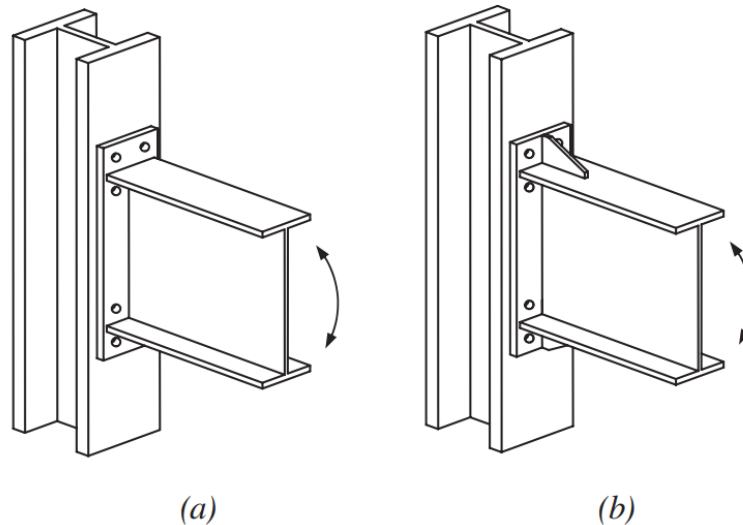


Figura 3.1 Configuraciones de conexiones de plancha extrema: (a) Conexión de 4 pernos no atiesada, 4E y (b) Conexión de 4 pernos atiesada, 4ES. Fuente: ANSI/AISC 358-22.

Además, existen conexiones precalificadas de ocho pernos (8ES), mas no serán estudiadas en este documento.

3.3. Limitaciones de diseño

Las conexiones precalificadas deben satisfacer los requisitos indicados en el documento *ANSI/AISC 358-22*. A lo largo de esta sección se indicarán los correspondientes a la conexión de plancha extrema.

3.3.1 Limitaciones de la viga

La viga escogida debe satisfacer los siguientes requisitos.

- 1) Las vigas deben ser perfiles de acero laminado o de tipo W que cumplan con los siguientes requisitos.
 - a. Para perfiles de acero laminados se requiere que sea uno de los perfiles de la Tabla 3.1.
 - b. Para perfiles soldados se requiere que sea uno de los perfiles de la Tabla 3.1 o que cumpla con los requisitos de precalificación de la Tabla 3.2. Además, la distancia desde la unión entre la viga y la plancha extrema y la localización de la rótula plástica, Sh , no debe ser mayor a d (Altura de la viga).
- 2) No existe límite para el peso por metro del perfil.
- 3) La razón entre la luz libre y la altura de la viga está limitada a:
 - a. Para sistemas de marcos de momento especiales (SMF) 7 o mayor.
 - b. Para sistemas de marcos de momento intermedios (IMF) 5 o mayor.
- 4) Las razones de espesor-ancho para las alas y el alma de la viga deben cumplir con los requisitos establecidos en *ANSI/AISC 341-22*, en particular, con los límites para miembros altamente dúctiles de la tabla D1.1.
- 5) Debe proveerse de arriostramiento lateral a las vigas en concordancia con *ANSI/AISC 341-22*. Para satisfacer los requerimientos de arriostramiento lateral en la rótula plástica se debe disponer de arriostramiento lateral suplementario en la parte superior e inferior de las alas de la viga, y debe estar localizada entre el final de la zona protegida y $d/2$ desde el final de la zona protegida. Está prohibido proyectar arriostramientos laterales dentro de la zona protegida.

Tabla 3.1 Perfiles que cumplen con limitaciones paramétricas para vigas y criterios de sección altamente dúctil para $F_{yb} = 344 \text{ MPa}$. Fuente: AISC Design Guide 39.

Tipo de perfil	P_{umax} para alma altamente dúctil (MPa)
W24x76	18,3
W24x62	11,9
W21x73	34,9
W21x68	23,1
W21x62	18,0
W21x57	12,3
W21x50	11,9
W18x71	55,8
W18x65	28,4
W18x60	22,2
W18x55	17,4
W18x50	11,6
W18x46	11,2
W18x40	4,8
W16x57	28,7
W16x50	19,9
W16x45	14,3
W14x53	29,4
W14x48	23,3
W14x38	13,3

Tabla 3.2 Limitaciones paramétricas de conexiones precalificadas para la viga. Fuente: AISC Design Guide 39.

Parámetro	4 pernos no atezado (4E)		4 pernos atezado (4ES)	
	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Mínimo (mm)
t_{bf}	19	10	19	10
b_{bf}	235	152	229	152
d	1400	349	610	349
t_p	57	13	38	13
b_p	273	178	273	178
g	152	102	152	83
p_{fi}, p_{fo}	114	38	140	44

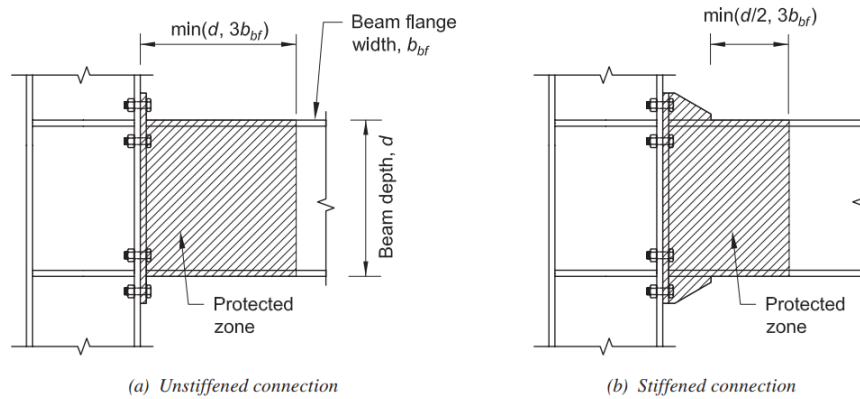


Figura 3.2 Extensión de la zona protegida para conexiones tipo: (a) 4E y (b) 4ES. Fuente: AISC Design Guide 39.

3.3.2 Limitaciones de la columna

La columna escogida debe satisfacer los siguientes límites.

- 1) Para perfiles soldados del tipo I sobre una zona que se extiende 300 mm por sobre y por debajo de las alas superior e inferior de la viga respectivamente, las almas de las columnas y sus respectivas alas deben estar conectadas usando soldadura de penetración completa, con un par de soldaduras de filete de refuerzo. El espesor mínimo de las soldaduras de filete debe ser el menor entre 8 mm y el espesor del alma de la columna.
- 2) La plancha extrema debe estar conectada al ala de la columna

- 3) Para las columnas laminadas y soldadas la altura del perfil está limitada a la altura de un perfil W36 (W920) como máximo.
- 4) No existe un límite para el peso por metro de columna.
- 5) No existen requisitos adicionales para el espesor del ala.
- 6) Las razones de ancho-espesor para las alas y el alma de la columna deben cumplir con los requisitos establecidos en *AISC Seismic Provisions*.
- 7) El arriostramiento lateral debe realizarse de acuerdo con los requisitos establecidos de *AISC Seismic Provisions*.

3.3.3 Planchas de continuidad

Aquellas planchas de continuidad con espesor menor a 10 mm se les permite estar soldadas al ala de la columna por medio de soldaduras de doble filete. La resistencia requerida para las soldaduras de filete no debe ser inferior a $F_y A_c$, donde A_c es definido como las áreas de contacto entre la plancha de continuidad y las alas de la columna y F_y es definido como el mínimo esfuerzo de fluencia de la plancha de continuidad.

Por otro lado, las planchas de continuidad con espesor por sobre 10 mm requieren de soldadura de penetración completa (CJP).

3.3.4 Detalles geométricos de la conexión

A continuación, se presentan figuras con los distintos parámetros que están limitados y que serán mencionados a lo largo de este punto.

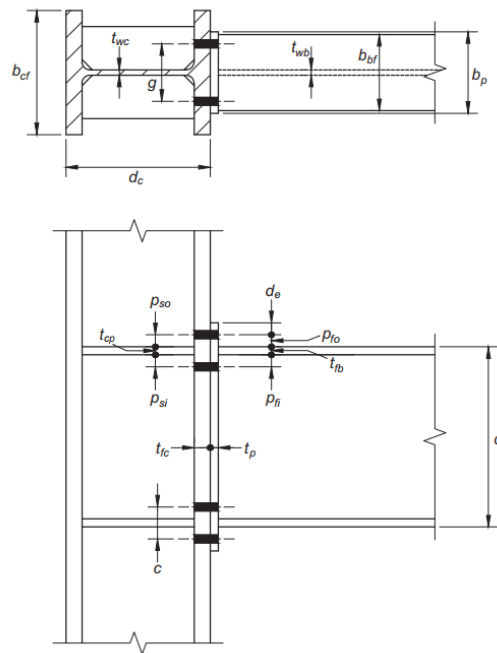


Figura 3.3 Geometría y parámetros para conexión de momento con plancha extrema no atiesada 4E. Fuente: ANSI/AISC 358-22.

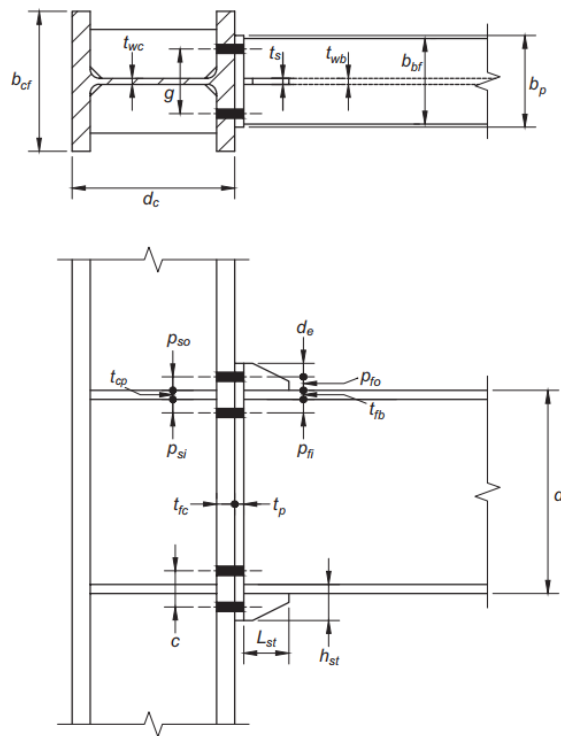


Figura 3.4 Geometría y parámetros para conexión de momento con plancha extrema atiesada 4ES. Fuente: ANSI/AISC 358-22.

Los siguientes parámetros están limitados en sus dimensiones.

- Distancia horizontal entre pernos (g): Limitada de acuerdo con la Tabla 3.2, además, el máximo valor que puede considerarse para este parámetro es el ancho del ala de la viga conectada.
- Espaciamiento entre filas de pernos (p_{fi} y p_{fo}): El mínimo valor considerable es igual al diámetro del perno más 13 mm para pernos de diámetro inferior a 25 mm. En el caso de que los pernos tengan un diámetro superior a 25 mm, los valores mínimos corresponderán al diámetro del perno más 19 mm. En el caso de conexiones con planchas de continuidad, si las planchas de continuidad poseen el mismo espesor que las alas de la viga (caso usual) entonces:
 $p_{fi} = p_{si}$ y $p_{fo} = p_{so}$.
- Ancho de la plancha extrema (b_p): Debe ser mayor o igual al ancho del ala de la viga conectada. El ancho efectivo de la plancha extrema, b_e , no debe ser mayor que el ancho del ala de la viga conectada más 25 mm.
- Atiesador de la plancha extrema: Para las conexiones con atiesador, este debe estar soldado con el ala de la viga y con la plancha extrema. Las planchas que se usen como atiesador deben tener forma de triángulo con secciones rectas al inicio y al final de la hipotenusa como se muestra en la Figura 3.5. El largo mínimo del atiesador, L_{st} , viene dado por la Ecuación 3.1:

$$L_{st} = \frac{h_{st}}{\tan(30^\circ)} \quad (3.1)$$

Cuando la viga y los atiesadores de la plancha extrema comparten el mismo material el espesor de los atiesadores debe ser igual o mayor que el espesor del alma de la viga. En caso contrario, el espesor viene dado por la siguiente ecuación.

$$t_s \geq t_{bw} \cdot \frac{F_{yb}}{F_{ys}} \quad (3.2)$$

Donde:

- t_s : Espesor del atiesador
- t_{bw} : Espesor del alma de la viga
- F_{yb} : Esfuerzo de fluencia del acero de la viga, MPa.
- F_{ys} : Esfuerzo de fluencia del acero de la plancha extrema, MPa.

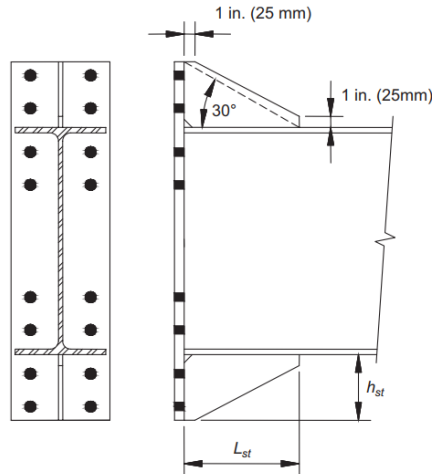


Figura 3.5 Disposición del atiesador en una conexión de plancha extrema 8ES. Fuente: ANSI/AISC 358-22.

3.3.5 Detalles de soldaduras

La soldadura entre la viga y la plancha extrema está sujeta a las siguientes limitaciones.

- 1) No está permitido el uso de agujeros de acceso para la soldadura.
- 2) Para conexiones de plancha extrema atiesadas, la soldadura entre la viga y la plancha extrema debe ser realizada antes de que los atiesadores sean instalados.
- 3) En caso de que el atiesador sea de un espesor menor o igual a 10 mm se permite usar soldaduras de doble filete que desarrollen la resistencia del atiesador. En caso contrario, la soldadura deberá ser de penetración completa.
- 4) Los detalles de la soldadura se resumen en la Figura 3.6 y la Figura 3.7.

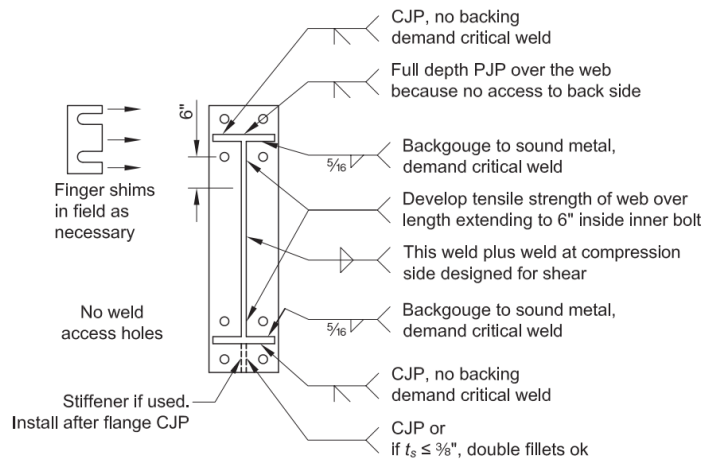


Figura 3.6 Detalles de soldadura entre la viga y la plancha extrema. Fuente: ANSI/AISC 358-22.

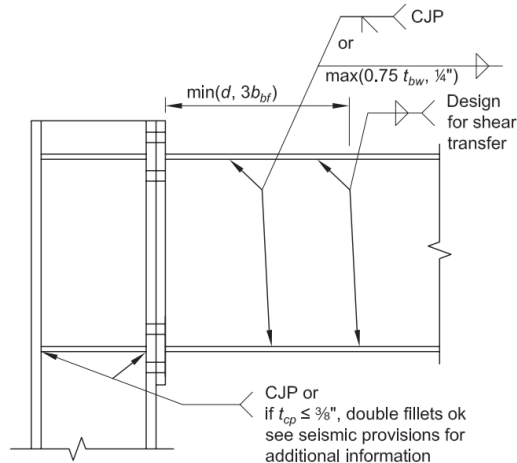


Figura 3.7 Detalles de soldadura en la viga y columna para perfiles soldados. Fuente: ANSI/AISC 358-22.

3.4. Procedimiento de diseño

A continuación, se presenta el procedimiento de diseño de acuerdo con la *Design Guide 39: End-Plate Moment Connections*.

3.4.1 Diseño de la plancha extrema y los pernos

Antes de comenzar, se definen los factores de minoración de resistencia correspondientes a estados límite del tipo dúctil (ϕ_d) y no-dúctil (ϕ_n) de acuerdo con *ANSI/AISC 358-22*. Cabe destacar que estos sobrescriben en algunos pasos los del documento *ANSI/AISC 360-22*.

$$\phi_d = 1,0$$

$$\phi_n = 0,9$$

Paso 1. Cálculo del momento probable, M_f .

En primer lugar, se debe definir el perfil tipo W a utilizar, sus dimensiones se encuentran limitadas en la Tabla 3.1 y la Tabla 3.2. Además, tanto para el perfil de la viga como el de la columna se debe verificar que cumplan con el criterio de sección altamente dúctil de *ANSI/AISC 341-22*, donde los valores límite de la razón ancho espesor para el ala y alma de la viga y la columna corresponden a los siguientes.

$$\lambda_{hd,ata} = 0,30 \cdot \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot F_y}} \quad (3.3)$$

$$\lambda_{hd,alma} = 2,5 \cdot (1 - C_a)^{2,3} \sqrt{\frac{E}{R_y \cdot F_y}} \quad (3.4)$$

$$C_a = \frac{\alpha_s \cdot P_r}{R_y \cdot F_y \cdot A_g} \quad (3.5)$$

Donde:

- E : Módulo de elasticidad del acero que conforma la viga o columna, MPa.
- R_y : Razón entre el esfuerzo de fluencia esperado y el mínimo valor de esfuerzo de fluencia. Valor obtenido desde la Tabla A3.1 *ANSI/AISC 341-22*.
- F_y : Esfuerzo de fluencia del acero que conforma la viga o columna, MPa.
- A_g : Área de la sección transversal de la viga o de la columna, mm².
- P_r : Resistencia axial requerida obtenida desde las combinaciones ASD o LRFD, N.
- α_s : Factor de ajuste para método LRFD y ASD. Se emplea 1,0 para el método LRFD y para el método ASD 1,5.

Posteriormente, se verifica que la razón entre la luz libre entre columnas y la altura de la viga sea igual o superior a:

- 7 para marcos de momento especiales (SMF).
- 5 para marcos de momento intermedios (IMF).

$$\frac{L_c}{d} = \frac{L - d_c}{d} \quad (3.6)$$

Donde:

- L : Luz libre entre columnas, mm.
- d_c : Altura de la columna, mm.
- d : Altura de la viga, mm.

Finalmente, se calcula el máximo momento probable en la viga:

$$M_{pr} = C_{pr} \cdot R_y \cdot F_{yb} \cdot Z_b \quad (3.7)$$

$$C_{pr} = \frac{F_{yb} + F_{ub}}{2 \cdot F_{yb}} \leq 1,2 \quad (3.8)$$

Donde:

- C_{pr} : Factor para tomar en cuenta la resistencia máxima absoluta de la conexión, incluyendo endurecimiento por deformación, refuerzo adicional y otras condiciones de la conexión. Ecuación 2.4-2 *AISC Prequalified Connections*.
- F_{yb} : Esfuerzo de fluencia mínimo de la viga. MPa.
- F_{ub} : Esfuerzo de último de la viga. MPa.
- Z_b : Módulo plástico de la viga, mm³.

Paso 2: Determinar la distancia entre la columna y la rótula plástica, S_h .

Para conexiones no atiesadas (4E)

$$S_h = \min\left(\frac{d}{2}, 3 \cdot b_{bf}\right) \quad (3.9)$$

Donde:

- d : Altura de la viga, mm.
- b_{bf} : Ancho de la viga, mm.

Para conexiones atiesadas (4ES)

$$S_h = L_{st} + t_p \quad (3.10)$$

Donde:

- L_{st} : Longitud del atiesador, mm.
- t_p : Espesor de la plancha extrema, mm.

Paso 3: Calcular la fuerza de corte en la rótula plástica, V_h .

$$V_h = \frac{2 \cdot M_{pr}}{L_h} + V_{gravity} \quad (3.11)$$

$$L_h = L - d_c - 2 \cdot S_h \quad (3.12)$$

Donde:

- L_h : Distancia entre la ubicación de las rótulas plásticas, mm.
- $V_{gravity}$: Fuerza de corte resultante de la combinación $1,2D+f_1L+0,15S$ en la viga entre la localización de las rótulas plásticas, donde D es la carga muerta, S es la carga de nieve y f_1 es el factor de carga determinado por el código de construcción para cargas vivas, no debe ser inferior a 0,5, N.

Los valores de M_{pr} y $V_{gravity}$ deben considerarse con el mismo signo.

Paso 4. Calcular el máximo momento probable en la cara de la columna, M_f .

$$M_f = M_{pr} + V_h \cdot S_h \tag{3.13}$$

Paso 5. Establecer el tipo de conexión a usar y definir valores preliminares de acuerdo con la Tabla 3.2.

Además de establecer el tipo de conexión se debe calcular las distancias entre el centro del ala en compresión hasta las dos filas de pernos, como se puede observar en la siguiente figura.

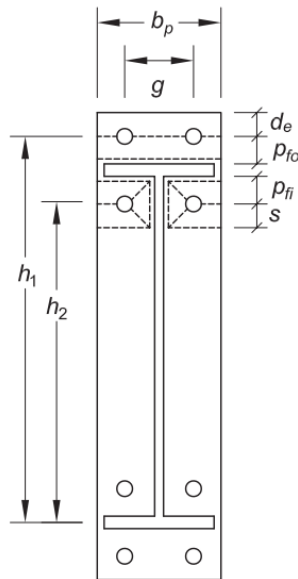


Figura 3.8 Valores de h_1 y h_2 en una conexión no atiesada. Fuente: AISC Design Guide 39.

Las distancias h_1 y h_2 se calculan mediante las siguientes ecuaciones.

$$h_1 = d - \frac{t_{bf}}{2} + p_{fo} \tag{3.14}$$

$$h_2 = d - \frac{3t_{bf}}{2} + p_{fi} \quad (3.15)$$

Paso 6. Determinar el diámetro de los pernos requerido, $d_{b,req}$.

Para conexiones de 4 pernos el diámetro requerido de pernos proviene de la siguiente expresión.

$$d_{b,req} = \sqrt{\frac{2 \cdot M_f}{\pi \cdot \phi_n \cdot F_{nt} \cdot (h_1 + h_2)}} \quad (3.16)$$

Donde:

- F_{nt} : Esfuerzo a tracción nominal extraído desde *ANSI/AISC 360-22*, MPa.

Paso 7. Seleccionar un diámetro de perno mayor que el diámetro requerido, d_b .

Paso 8. Calcular el espesor de la plancha requerido, $t_{p,req}$.

$$t_{p,req} = \sqrt{\frac{1,11 \cdot M_f}{\phi_d \cdot F_{yp} \cdot Y_p}} \quad (3.17)$$

Donde:

- F_{yp} : Mínimo esfuerzo de fluencia del material de la plancha extrema, MPa.
- Y_p : Parámetro de línea de fluencia extraído desde las tablas incorporadas en el Anexo 2.1
Parámetros de Líneas de fluencia de la plancha extrema y del ala de la columna.

Para la determinación de Y_p se requieren los siguientes valores.

$$b_{p,eff} \leq b_{bf} + 25 \text{ mm} \quad (3.18)$$

$$s = \frac{\sqrt{g \cdot b_p}}{2} \quad (3.19)$$

Paso 9. Seleccionar un espesor de la plancha extrema, t_p , superior al valor calculado.

Paso 10. Calcular la fuerza del ala de la viga factorizada, F_{fu} .

La fuerza del ala de la viga factorizada se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d - t_{bf}} \quad (3.20)$$

Donde:

- t_{bf} : Espesor del ala de la viga

Paso 11. Verificar la fluencia al corte de una porción extendida de la plancha extrema conexión en la conexión de cuatro pernos no atiesada (4E).

Se debe cumplir lo siguiente.

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi_d \cdot (0,6) \cdot F_{yp} \cdot b_p \cdot t_p \quad (3.21)$$

Donde b_p es el ancho de la plancha extrema en mm, considerado como no superior al ancho de la viga más 25 mm. Esta verificación no debe realizarse en conexiones atiesadas (4ES).

Paso 12. Verificar la ruptura al corte de una porción extendida de la plancha extrema en la conexión de cuatro pernos no atiesada.

Se debe cumplir lo siguiente.

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi_n \cdot (0,6) \cdot F_{up} \cdot A_n \quad (3.22)$$

Donde:

- A_n : Área neta de la plancha extrema. Donde para agujeros estándar este valor corresponde a:

$$A_n = t_p \cdot (b_p - 2d_b + 3) \quad (3.23)$$

- F_{up} : Esfuerzo de ruptura mínimo especificado del material de la plancha extrema, MPa.
- d_b : Diámetro del perno escogido en el Paso 7, mm.

Esta verificación no se debe realizar en conexiones atiesadas (4ES).

Paso 13. Definir la geometría del atiesador.

Este paso es exclusivo de conexiones atiesadas (4ES). Se debe cumplir con lo establecido en el punto de limitaciones de diseño. Además, para prevenir el pandeo local en el atiesador, el siguiente criterio de razón ancho/espesor debe ser cumplido.

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (3.24)$$

Donde h_{st} es la altura del atiesador en mm, igual a la altura de la plancha extrema desde la cara de afuera del ala de la viga hasta el tope de la plancha extrema. Finalmente, F_{ys} , corresponde al mínimo esfuerzo de fluencia del material del atiesador.

Paso 14. Verificar la resistencia de la viga de acuerdo con *ANSI/AISC 360-22*.

La resistencia requerida al corte por la viga fue calculada en el Paso 3. Por otro lado, se debe garantizar que el alma de la viga cumpla con los límites de esbeltez para pandeo por corte, dicha verificación corresponde a la siguiente ecuación.

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d - 2t_{bf}}{t_{bw}} \leq 1,10 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot k_v}{F_y}} \quad (3.25)$$

Donde k_v es un parámetro que varía dependiendo de la presencia de atiesadores en el alma de la viga o no y es definido por la siguiente expresión.

$$k_v = \begin{cases} 5,34, & \text{para almas sin atiesadores transversales} \\ 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2}, & \text{para almas con atiesadores transversales} \end{cases} \quad (3.26)$$

Donde a corresponde al espaciamiento entre atiesadores en mm. En el caso que el valor de a/h sea superior a tres, entonces k_v , debe considerarse como 5,34.

Finalmente, la resistencia al corte viene dada por la siguiente expresión.

$$V_n = \phi_v \cdot 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_{v1} \quad (3.27)$$

Donde:

- A_w : Área del alma, mm².
- C_{v1} : Coeficiente de corte del alma. Es obtenido mediante la siguiente expresión.

$$C_{v1} = \begin{cases} 1,0 & \text{Para vigas laminadas con } \frac{h}{t_w} \leq 2,24 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ 1,0 & \text{Para vigas laminadas o soldadas con } \frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \\ \frac{1,1 \sqrt{\frac{E k_v}{F_y}}}{\frac{h}{t_w}} & \text{Para vigas laminadas o soldadas con } \frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \end{cases} \quad (3.28)$$

- ϕ_v : Para el primer caso de Cv1 el valor de este parámetro es considerado como 1. En cualquier otro caso, este parámetro corresponde a 0,9.

Paso 15. Resistencia de los pernos a la ruptura por corte.

La resistencia de los pernos a la ruptura por corte es proveída por los pernos en el ala en compresión y viene dada por la siguiente expresión.

$$V_u \leq \phi_n \cdot n_b \cdot F_{nv} \cdot A_b \quad (3.29)$$

Donde:

- A_b : Área de un perno, mm².
- F_{nv} : Esfuerzo de corte nominal de un perno extraído desde *ANSI/AISC 360-22*, MPa.
- n_b : 4 para el tipo de conexiones visto en este capítulo.

Paso 16. Diseño de las soldaduras entre la viga y la plancha extrema.

Los tipos de soldadura para la conexión entre la viga y la plancha extrema se encuentran resumidos en la Figura 3.6. Por otro lado, en caso de que se la conexión esté compuesta por perfiles soldados, la viga y la columna deben cumplir con lo establecido en la Figura 3.7.

Las soldaduras de demanda crítica poseen requisitos de detalle especiales dependiendo del tipo de conexión, y siendo reconocidas como muy importantes dado que, un fallo de estas puede comprometer la estabilidad del sistema sismorresistente de una estructura.

Para la soldadura entre la plancha extrema y el alma de la viga se establecen dos partes conocidas como la zona de tensión y la parte fuera de la zona de tensión. La zona de tensión se encuentra entre la parte del alma más cercana al ala de la viga hasta 152 mm (6 pulgadas) hacia el centro de la viga, para esta zona la soldadura debe ser de penetración completa o de doble filete que permitan desarrollar completamente la resistencia de la viga en tensión. Por otro lado, fuera de la zona de tensión, se diseña para la demanda de corte estimada en el paso 3.

Es recomendable utilizar soldadura de doble filete de un único espesor a lo largo del alma, sustentado en una mayor facilidad constructiva. Finalmente, se presenta la ecuación utilizada para la estimación de la resistencia de una soldadura de tipo filete.

$$R_n = 0,60 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0,5 \cdot \text{sen}^{1,5}\theta) \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot w_f \cdot L_w \quad (3.30)$$

Donde:

- F_{EXX} : Resistencia del electrodo empleado en la soldadura. MPa.
- w_f : Tamaño de la soldadura de filete, mm.
- L_w : Longitud de la soldadura de filete, mm.
- θ : Ángulo formado entre la dirección de la fuerza aplicada y el eje longitudinal de la soldadura.

3.4.2 Diseño por el lado de la columna

Paso 1. Verificar la fluencia por flexión en el ala de la columna.

El espesor mínimo del ala de la columna viene dado por la siguiente expresión.

$$t_{cf} \leq \sqrt{\frac{1,11 \cdot M_f}{\phi_d \cdot F_{yc} \cdot Y_c}} \quad (3.31)$$

Donde:

- F_{yc} : Mínimo esfuerzo de fluencia especificado el material de la columna, MPa.
- Y_c : Mecanismo de línea de fluencia para columnas no atiesadas, extraído desde las tablas del anexo, mm.
- t_{cf} : Espesor del ala de la columna, mm.

En caso de que la ecuación 3.31 no sea satisfecha, se debe incrementar el tamaño de la columna o añadir planchas de continuidad. Además, en caso de que se añadan planchas de continuidad, se debe ocupar el parámetro Y_c específico para alas de columnas con planchas de continuidad contenido en el anexo.

Paso 2. Determinar la resistencia a flexión del ala de la columna.

En caso de requerir planchas de continuidad, se debe obtener la demanda para su diseño, los siguientes 3 pasos determinarán la resistencia de diseño. La resistencia a la flexión del ala de la columna viene dada por la siguiente ecuación.

$$\phi_d M_{cf} = \phi_d \cdot F_{yc} \cdot Y_c \cdot t_{cf}^2 \quad (3.32)$$

Donde Y_c es el parámetro de mecanismo de línea de fluencia para columna no atiesada. Mediante equilibrio de fuerzas en la conexión se obtiene la fuerza equivalente de diseño del ala de la columna.

$$\phi_d R_n = \frac{\phi_d \cdot M_{cf}}{(d - t_{tbf})} \quad (3.33)$$

Paso 3. Verificar la resistencia a la fluencia local en el alma no atiesada de la columna.

Resistencia requerida.

$$F_{fu} \leq \phi_d R_n \quad (3.34)$$

$$R_n = (6 \cdot C_t k_c + l_b) \cdot F_{yc} \cdot t_{cw} \quad (3.35)$$

Donde:

- C_t : 0,5 si la distancia entre el tope de la columna hasta el tope del ala de la viga es inferior a la altura de la columna. De lo contrario, $C_t = 1,0$.
- k_c : Distancia entre la cara más lejana del ala de la columna hasta la base del filete en el alma.
- $l_b = t_{bf} + 2w + 2t_p$, mm.
- t_{cw} : Espesor del alma de la columna, mm.
- w : Tamaño de la soldadura de filete utilizada entre el ala de la viga y la plancha extrema, mm.

Si el requisito establecido en la primera ecuación no es satisfecho, entonces es necesario colocar planchas de continuidad en el alma de la columna.

Paso 4. Verificar la resistencia del alma no atiesada de la columna al aplastamiento local.

Se debe cumplir:

$$F_{fu} \leq \phi R_n \quad (3.36)$$

Donde $\phi = 0,75$ y R_n viene dado por las siguientes condiciones:

1. Cuando F_{fu} es aplicado a una distancia más grande o igual que $d_c/2$ desde el punto más alto de la columna.

$$R_n = 0,80 \cdot t_{cw}^2 \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{l_b}{d_c} \right) \cdot \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot F_{yc} \cdot t_{cf}}{t_{cw}}} \quad (3.37)$$

2. Cuando F_{fu} es aplicado a una distancia inferior que $d_c/2$ desde el punto más alto de la columna.

- a. Para $\frac{l_b}{d_c} \leq 0,2$

$$R_n = 0,40 \cdot t_{cw}^2 \cdot \left[1 + 3 \cdot \left(\frac{l_b}{d_c} \right) \cdot \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1,5} \right] \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_{yc} \cdot t_{cf}}{t_{cw}}} \quad (3.38)$$

b. Para $\frac{l_b}{d_c} > 0,2$

$$R_n = 0,40 \cdot t_{cw}^2 \left[1 + \left(\frac{4l_b}{d_c} - 0,2 \right) \cdot \left(\frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1,5} \right] \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_{yc} \cdot t_{cf}}{t_{cw}}} \quad (3.39)$$

En caso de que no se cumpla con la Ecuación 3.37 es necesario incorporar planchas de continuidad en la columna.

Paso 5. Resistencia requerida para el diseño de las planchas de continuidad.

En caso de ser necesarias las planchas de continuidad, la resistencia requerida viene dada por la siguiente expresión.

$$F_{su} = F_{fu} - \min(\phi R_n) \quad (3.40)$$

Donde R_n corresponde a los valores calculados en el Paso 2, 3 y 4 del punto 3.4.2.

Paso 6. Determinar el corte en la zona panel, V_{upz} .

Se determina de acuerdo con el documento *ANSI/AISC 341-22* y viene dado por la siguiente expresión.

$$V_{upz} = F_{fu} - V_{uc} - \frac{P_{ub}}{2} \quad (3.41)$$

Donde:

- V_{uc} : Fuerza de corte actuando en la columna, N.
- P_{ub} : La mitad de la fuerza axial, N.

La resistencia de diseño de la zona panel es calculada de acuerdo con la sección J10.6 del documento *ANSI/AISC 360-22* haciendo uso del factor de minoración de resistencia dúctil definido al inicio de este capítulo. En primer lugar, es necesario calcular la razón entre la demanda de fuerza axial, P_u , y la razón entre la demanda y la resistencia a la fluencia de la columna, P_y . Ambas vienen dadas por las siguientes ecuaciones.

$$P_{uc,total} = P_{uc} + V_{ub} \quad (3.42)$$

$$P_y = F_{yc} \cdot A_{gc} \quad (3.43)$$

Para la determinación de la resistencia de la zona panel se asume que se tiene en cuenta en el análisis la deformación inelástica en la zona panel en la estabilidad del marco, para lo cual existen dos posibles casos.

1. Para $\alpha P_r \leq 0,75P_y$

$$R_n = 0,60 \cdot F_y \cdot d_c \cdot t_{cw} \left(1 + \frac{3 \cdot b_{cf} \cdot t_{cf}^2}{d_b \cdot d_c \cdot t_{cw}} \right) \quad (3.44)$$

2. Para $\alpha P_r > 0,75P_y$

$$R_n = 0,60 \cdot F_y \cdot d_c \cdot t_{cw} \left(1 + \frac{3 \cdot b_{cf} \cdot t_{cf}^2}{d_b \cdot d_c \cdot t_{cw}} \right) \left(1,9 - \frac{1,2 \cdot \alpha \cdot P_r}{P_y} \right) \quad (3.45)$$

Donde:

- $\alpha = 1,0$ (LRFD) o $1,6$ (ASD).
- F_{yc} : Mínimo esfuerzo de fluencia del alma de la columna, MPa.

Finalmente se debe verificar que el espesor del alma de la columna sea suficiente. Las siguientes expresiones permiten calcular el espesor mínimo.

$$d_z = d - 2t_{bf} \quad (3.46)$$

$$w_z = d_c - 2t_{cf} \quad (3.47)$$

$$t_{cw,req} = \frac{d_z + w_z}{90} \quad (3.48)$$

Paso 7. Verificar la razón de momento entre la columna y la viga.

Se debe evaluar si los requisitos de razones de momento de columna fuerte-viga débil de *ANSI/AISC 341-22* sección E3.4a son satisfechos. La siguiente condición se debe cumplir para conexiones entre viga y columna.

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{be}^*} > 1,0 \quad (3.49)$$

Donde:

- $\sum M_{pc}^*$: Sumatoria de las proyecciones de las resistencias a flexión nominales de las columnas por sobre y por debajo del eje del nodo de la viga con una reducción a la fuerza axial por la fuerza axial de la columna, N-mm. Se permite calcular $\sum M_{pc}^*$ de la siguiente forma.

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c \cdot (F_{yc} - \alpha_s \cdot P_r / A_g) \quad (3.50)$$

En caso de que los ejes de vigas opuestas de un mismo nodo no coincidan, el eje en medio de ambas vigas debe ser usado

- $\sum M_{be}^*$: Sumatoria de las proyecciones de las resistencias a flexión esperadas de las vigas en las localizaciones de las rótulas plásticas en el eje de la columna en N-mm. Se permite calcular $\sum M_{be}^*$ de la siguiente forma.

$$\sum M_{be}^* = \sum (M_{pr} + \alpha_s \cdot M_v) \quad (3.51)$$

- A_g : Área de la columna mm².
- M_{pr} : Máximo momento probable en la localización de la rótula plástica, determinado en concordancia con *ANSI/AISC 358-22*. N-mm.
- M_v : Momento adicional debido a amplificación del corte desde la localización de la rótula plástica hasta el eje de la columna proveniente de combinaciones de carga ASD o LRFD. N-mm.
- P_r : Resistencia requerida a la compresión. N.
- Z_c : Módulo plástico de la columna alrededor del eje de flexión (mm³).

Este requisito no es necesario cumplirlo si las siguientes condiciones son satisfechas.

1. Columnas con $\alpha_s P_{rc} < 0,3 P_{yc}$ para todas las combinaciones menos las que fueron calculadas usando carga sísmica con sobrerresistencia y que han sido utilizadas en construcciones de un solo piso o en el último piso de una construcción.
2. Columnas en cualquier piso que tengan una razón de resistencia al corte/resistencia requerida al corte que sea 50% más grande que el piso inmediatamente superior.

Finalmente, todos los pasos anteriormente mencionados se encuentran desarrollados en la planilla de cálculo adjuntada en el anexo.

3.5. Conclusiones

El procedimiento de diseño de las conexiones de plancha extrema ha sido explicado de acuerdo con los estándares de origen norteamericano, permitiendo aplicar los distintos conceptos y ecuaciones para el desarrollo de herramientas que faciliten aplicar los pasos y requerimientos expuestos. De la misma manera, el próximo capítulo abordará el diseño de conexiones de sección de viga reducida o *RBS*.

CAPÍTULO 4: CONEXIONES CON SECCIÓN DE VIGA REDUCIDA

4.1. Introducción

Este capítulo explica los procedimientos y limitaciones de diseño de las conexiones con sección de viga reducida (*RBS*) precalificadas.

4.2. Tipo de conexión

A continuación, se presenta un esquema de una conexión típica de sección de viga reducida.

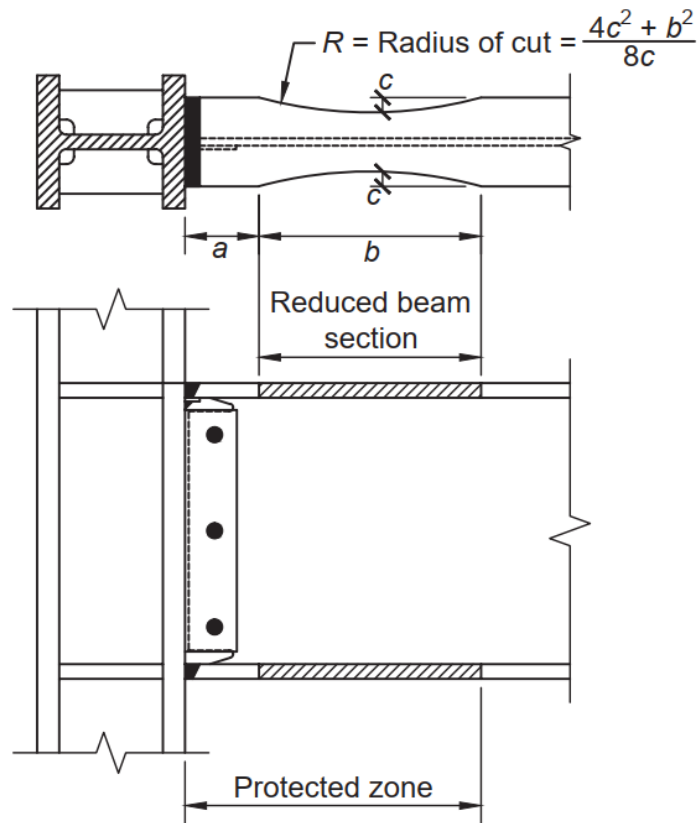


Figura 4.1 Conexión típica de sección de viga reducida (RBS). Fuente: ANSI/AISC 358-16.

Tal como se puede observar en la Figura 4.1, esta se compone por una viga con cortes redondeados en sus alas y en el alma. Los cortes en el alma de la viga se conocen como agujeros de acceso para la soldadura. Además, la conexión entre la viga y la columna se realiza mediante una plancha de corte y soldaduras.

4.3. Limitaciones de diseño

Las conexiones precalificadas deben satisfacer los requisitos indicados en el documento *ANSI/AISC 358-16*, en esta sección se indican aquellos correspondientes a la conexión con sección de viga reducida.

4.3.1 Limitaciones de la viga

La viga escogida debe satisfacer los siguientes requisitos:

1. Las vigas pueden ser perfiles tipo W laminados o soldados, para los perfiles soldados se requiere que el alma con el ala esté soldada mediante soldadura de penetración completa (CJP), extendiéndose desde la unión de la viga con la columna hasta la posición de la rótula plástica.
2. La altura de la viga, d , está limitada a un máximo de 920 mm (W920) para perfiles soldados y laminados.
3. El peso de la viga está limitado a un máximo de 447 kg/m.
4. El espesor del ala de la viga, t_{bf} , está limitado a un máximo de 44 mm.
5. La razón entre la altura de la viga y la longitud libre entre columnas está limitada a:
 - a. 7 para sistemas de marcos de momento especiales (SMF).
 - b. 5 para sistemas marcos de momento intermedios (IMF).
6. Las razones de espesor-ancho para las alas y el alma de la viga deben cumplir con los requisitos establecidos en *ANSI/AISC 341-16*, en particular, con los límites para miembros altamente dúctiles de la tabla D1.1.
7. Debe proveerse de arriostramiento lateral a las vigas en concordancia con *ANSI/AISC 341-16*. Para satisfacer los requerimientos de arriostramiento lateral en la rótula plástica se debe disponer de arriostramiento lateral suplementario en la parte superior e inferior de las alas de la viga, y debe estar localizada entre el final de la zona protegida y $d/2$ desde el final de la zona protegida. Está prohibido proyectar arriostramientos laterales dentro de la zona protegida.
8. La zona protegida consiste en la porción entre la cara de la columna y el punto más lejano donde termina el corte de sección de viga reducida, como se puede observar en la Figura 4.1.

4.3.2 Limitaciones de la columna

La columna escogida debe satisfacer los siguientes requisitos.

1. Para perfiles soldados del tipo I sobre una zona que se extiende 300 mm por sobre y por debajo de las alas superior e inferior de la viga respectivamente, las almas de las columnas y sus respectivas alas deben estar conectadas usando soldadura de penetración completa, con un par de soldaduras de filete de refuerzo. El espesor mínimo de las soldaduras de filete debe ser el menor entre 8 mm y el espesor del alma de la columna.
2. La viga debe estar conectada al ala de la columna
3. La altura de la columna, d_c , está limitada a un máximo de 920 mm (W920) para perfiles laminados y soldados.
4. No existe límite de peso por kilogramo en las columnas.
5. No existen requerimientos adicionales para el espesor del ala de la columna.
6. Las razones de espesor-ancho para las alas y el alma de la viga deben cumplir con los requisitos establecidos en *ANSI/AISC 341-16*, en particular, con los límites para miembros altamente dúctiles de la tabla D1.1.
7. El arriostramiento lateral de las columnas debe realizarse de acuerdo con los requerimientos del documento *ANSI/AISC 341-16*.

4.3.3 Limitaciones en la relación columna-viga

Las conexiones entre la viga y la columna deben satisfacer los siguientes requisitos.

1. La zona panel debe satisfacer los requisitos dispuestos en el documento *ANSI/AISC 341-16*.
2. Para sistemas de marcos de momento especiales (SMF)
 - a. Para sistemas de marcos de momento especiales la razón entre momentos debe cumplir los requisitos del documento *ANSI/AISC 341-16*. El valor de $\sum M_{pb}^*$ debe ser considerado igual a $\sum (M_{pr} + M_{uv})$, donde M_{pr} es calculado de acuerdo con el Paso 3 de los Procedimientos de diseño, y M_{uv} es el momento adicional debido a la amplificación del corte desde el centro de la sección reducida de la viga hasta el eje de la columna. M_{uv} puede ser calculado como $V_{RBS} \cdot \left(a + \frac{b}{2} + \frac{d_c}{2} \right)$, donde V_{RBS} es el corte

en el centro de la sección de viga reducida calculado en el Paso 4 de los Procedimientos de diseño, a y b son dimensiones que se pueden observar en la Figura 4.1.

- b. Para sistemas de marcos de momento intermedios, la razón de momentos entre la columna y la viga deben cumplir con los requerimientos de *ANSI/AISC 341-16*.

4.3.4 Limitaciones en la soldaduras

Las soldaduras entre el ala de la columna y las alas de la viga deben cumplir lo siguiente.

1. Las alas de la viga deben estar conectadas al ala de la columna por medio de soldadura de penetración completa (CJP). Además, éstas deben realizarse de acuerdo con los requerimientos de soldaduras de demanda crítica incluidas en el documento *AISC 341*.
2. La geometría de los agujeros de acceso debe diseñarse de acuerdo con los requerimientos establecidos en *AISC 360*, los cuales se encuentran resumidos en la siguiente figura.

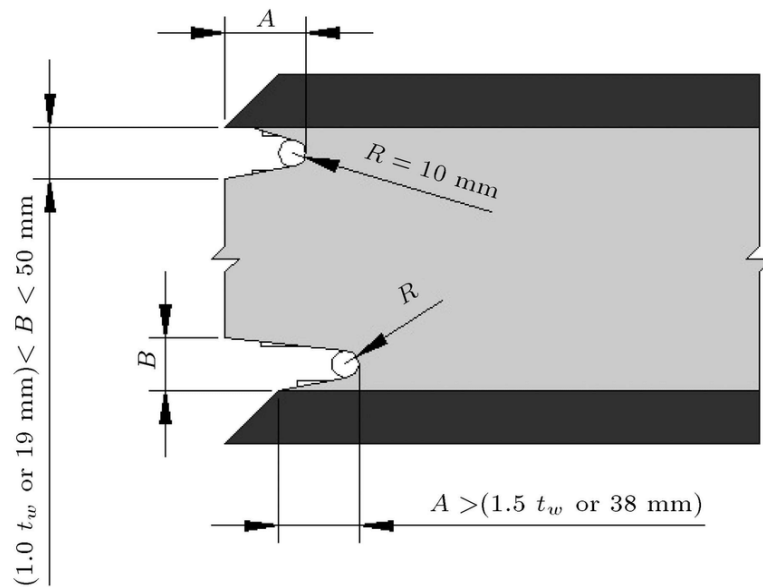


Figura 4.2 Detalles de los agujeros de acceso para soldadura de acuerdo con ANSI/AISC 360-16. Fuente: Pourzeynali, Saeid & Shakeri, Ashkan. (2015)

4.3.5 Limitaciones de la conexión entre la viga y la columna

La conexión entre el alma de la viga y el ala de la columna debe cumplir los siguientes requisitos.

1. La resistencia requerida de diseño de la conexión del alma de la viga es calculada en el Paso 3 de los procedimientos de diseño

2. La conexión del alma de la viga está limitada de la siguiente forma.
 - a. Para sistemas de marcos especiales (SMF), el alma debe estar conectada al ala de la columna mediante una soldadura de penetración completa (CJP) que se extiende entre los agujeros de acceso. La altura de la plancha de corte corresponde a la distancia entre los agujeros de acceso como se muestra en la Figura 4.1. Está permitido hacer uso de la plancha de corte como respaldo para la soldadura de penetración completa entre el alma de la viga y el ala de la columna. Además, está permitido hacer agujeros y colocar pernos en el alma de la viga con el propósito de la erección de la estructura.
 - b. Para sistemas de marcos intermedios (IMF), el alma de la viga debe estar conectada al ala de la columna cumpliendo los mismos requisitos que los sistemas de marcos especiales (SMF).

4.4. Procedimiento de diseño

A continuación, se presentan los procedimientos de diseño de acuerdo con el documento *AISC 358-16*.

Paso 1. Escoger valores de prueba para las secciones de la viga, columna y dimensiones a , b y c de la Figura 4.1.

Los valores a , b y c están sujetos a los siguientes límites.

$$0,5b_{bf} \leq a \leq 0,75b_{bf} \quad (4.1)$$

$$0,65d \leq b \leq 0,85d \quad (4.2)$$

$$0,1b_{bf} \leq c \leq 0,25b_{bf} \quad (4.3)$$

Donde:

- a : Distancia horizontal desde la cara de la columna hasta el inicio del corte de la sección de viga reducida, mm.
- b : Longitud del corte de la sección de viga reducida, mm.
- b_{bf} : ancho del ala de la viga, mm.

- c : profundidad del corte al centro de la sección de viga reducida, mm.

Se debe verificar que los perfiles seleccionados sean los adecuados para las combinaciones de carga especificadas en el código de diseño aplicado, incluyendo la sección reducida de la viga y que el *drift* por piso en el marco cumple con los límites especificados en el código de diseño aplicado.

Paso 2. Calcular el módulo de sección plástica al centro de la sección de viga reducida, Z_{RBS} .

El módulo de sección plástica al centro de la sección de la viga reducida viene dado por la siguiente ecuación.

$$Z_{RBS} = Z_x - 2 \cdot c \cdot t_{bf} \cdot (d - t_{bf}) \quad (4.4)$$

Donde:

- Z_x : Módulo de sección plástica alrededor del eje x, para la sección de la viga, mm³.
- t_{bf} : Espesor del ala de la viga, mm.

Paso 3. Calcular el máximo momento probable, M_{pr} , al centro de la sección de viga reducida.

El máximo momento probable viene dado por la siguiente ecuación.

$$M_{pr} = C_{pr} \cdot R_y \cdot F_y \cdot Z_{RBS} \quad (4.5)$$

Paso 4. Calcular la fuerza de corte al centro de la sección de viga reducida, V_h .

La fuerza de corte viene dada por la siguiente expresión.

$$V_{RBS} = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravity} \quad (4.6)$$

$$L_h = L - d_c - 2 \cdot S_h \quad (4.7)$$

Donde:

- L_h : Distancia entre la ubicación de las rótulas plásticas, mm.
- $V_{gravity}$: Fuerza de corte resultante de la combinación 1,2D+f₁L+0,15S en la viga entre la localización de las rótulas plásticas, donde D es la carga muerta, S es la carga de nieve y f₁ es el factor de carga determinado por el código de construcción para cargas vivas, no debe ser inferior a 0,5, N.

Los valores de M_{pr} y $V_{gravity}$ deben considerarse con el mismo signo.

Paso 5. Calcular el máximo momento probable en la cara de la columna, M_f .

El momento en la cara de la columna se calcula mediante la siguiente ecuación proveniente del equilibrio estático.

$$M_f = M_{pr} + V_{RBS} \cdot S_h \quad (4.8)$$

Paso 6. Calcular el momento plástico de la viga basado en el esfuerzo de fluencia esperado, M_{pe} .

El momento plástico de la viga basado en el esfuerzo de fluencia esperado viene dado por la siguiente ecuación.

$$M_{pe} = R_y \cdot F_y \cdot Z_x \quad (4.9)$$

Paso 7. Verificar la resistencia a la flexión de la viga en la cara de la columna.

Se debe cumplir que:

$$M_f \leq \phi_d M_{pe} \quad (4.10)$$

En caso de no cumplirse la Ecuación 4.10, se deben cambiar los valores de a , b y c o ajustar el tamaño de la sección y repetir los pasos desde el 2 al 7.

Paso 8. Determinar la resistencia al corte requerida, V_u .

La demanda de corte viene dada por la siguiente ecuación.

$$V_u = V_{RBS} + \frac{V_{gravity} \cdot S_h}{L_h} \quad (4.11)$$

Esta demanda de corte debe ser resistida tanto por la viga como por la conexión de corte de plancha simple.

Paso 9. Diseñar la conexión entre el alma y la columna de acuerdo con el punto 4.3.3.

Paso 10. Verificar los requerimientos de planchas de continuidad de acuerdo con *ANSI/AISC 341-16*.

La resistencia requerida por la cara de la columna viene dada por la siguiente ecuación.

$$P_f = \frac{M_f}{\alpha_s \cdot d^*} \quad (4.12)$$

Donde:

$$d^* = d - t_f \quad (4.13)$$

Esta resistencia es comparada con los estados límites de la columna extraídos desde la Sección J10 del documento *ANSI/AISC 360-16*, estos son:

- Fluencia local del ala.
- Fluencia local del alma.
- *Crippling* local del alma.

Además, se debe garantizar que el espesor del ala de la columna sea superior al valor mínimo establecido en el documento *ANSI/AISC 341-16*:

$$t_{lim} = \frac{b_{bf}}{6} \quad (4.14)$$

En caso de no satisfacer alguno de los puntos anteriores, es necesario incorporar planchas de continuidad en la columna, las cuales, a su vez, también tienen valores que limitan su ancho y su espesor de acuerdo con *ANSI/AISC 341-16*, y vienen dados por las siguientes ecuaciones respectivamente:

$$\frac{b_{fb} - t_{wc}}{2} \leq b_{conplate} \leq \frac{b_{fc} - t_{wc}}{2} \quad (4.15)$$

$$t_{conplate} \geq 0,75 \cdot t_{bf} \quad (4.16)$$

Estas planchas de continuidad deben contar con cortes en sus esquinas para facilitar los procesos de soldadura de acuerdo con el documento *AWS D1.8-16* (AWS, 16), los requisitos establecidos en la referencia citada se encuentran resumidos en la siguiente figura:

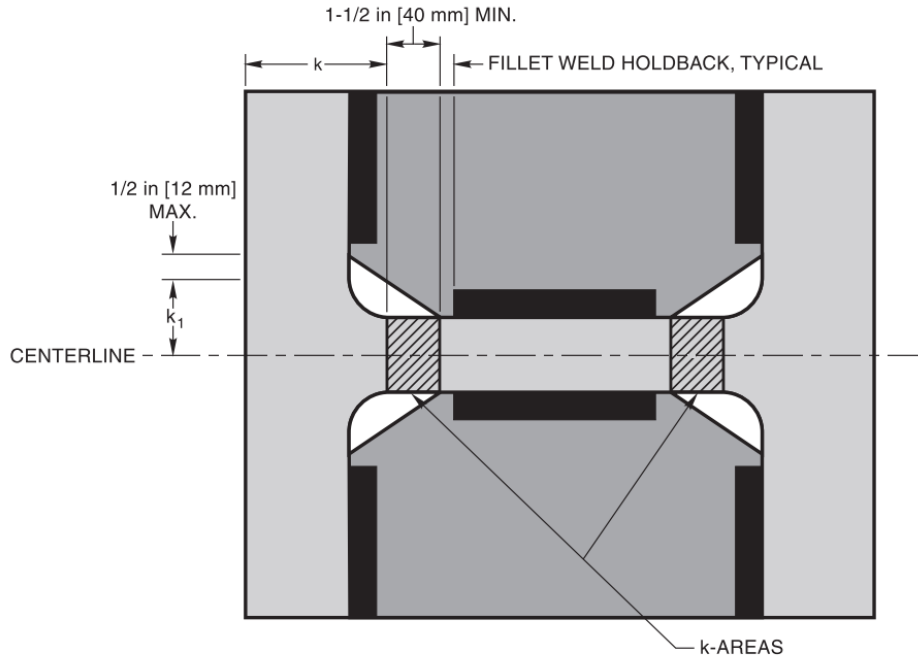


Figura 4.3 Vista en planta de disposición típica de cortes de esquina en planchas de continuidad. Fuente: AWS D1.8-16

Finalmente, de acuerdo con la sección E3.6f del documento *ANSI/AISC 341-16*, la resistencia requerida de la plancha de continuidad es el menor valor de:

1. La suma de las resistencias a la tracción de las áreas de contacto entre las planchas de continuidad y las alas de la columna.
2. La resistencia al corte proveída por el área de contacto de las planchas de continuidad con el alma de la columna.
3. La resistencia al corte de la columna cuando las planchas de continuidad están soldadas al alma de la columna, o la resistencia al corte disponible de la plancha de refuerzo cuando la planchas de continuidad están soldadas a la plancha de refuerzo. Calculado de acuerdo con *ANSI/AISC 360-16*.

Paso 11. Verificar las relaciones entre la columna y la viga establecidos en el documento *ANSI/AISC 341-16*.

El procedimiento de este paso es igual a los pasos 6 y 7 del punto 3.4.2 considerando las limitaciones establecidas en el punto 4.3.3 para las conexiones de sección de viga reducida.

Finalmente, todos los pasos anteriormente mencionados se encuentran desarrollados en la planilla de cálculo adjuntada en el anexo.

4.5. Conclusiones

Una vez conocidos los procedimientos de diseño de ambos tipos de conexiones de acuerdo con la marco teórico y normativo vigente, se prosigue con el desarrollo de conexiones precalificadas presentes en las guías de diseño del *AISC* haciendo uso del *software* IdeaStatica.

CAPÍTULO 5: MODELACIÓN DE CONEXIONES CON IDEASTÁTICA

5.1. Introducción

Este capítulo aborda el uso del *software* comercial de modelado de elementos finitos IdeaStática para el diseño y modelación de conexiones de plancha extrema y de viga de sección reducida. Además, se contrastan los resultados de los valores de diseño y rigidez de la conexión con los valores obtenidos mediante información disponible en la literatura.

5.2. IdeaStática: Modelado de conexiones mediante elementos finitos

IdeaStática es un *software* comercial que permite el modelado y análisis de distintos tipos de conexiones haciendo uso de un método denominado como CBFEM (Método de los Elementos Finitos basado en Componentes).

En la documentación del programa se afirma y justifica la cantidad de elementos finitos por elemento estructural (en particular: el alma de una viga o columna, las alas de una viga o columna, la plancha extrema de una conexión, una placa base, etc.) basado en comparativas con ensayos realizados para distintos tipos de conexiones y análisis de convergencia de resultados con distintos tipos de mallado.

Entre los múltiples tipos de análisis que se pueden realizar con el programa, destacan dos, el análisis esfuerzo/deformación y el análisis de rigidez de una conexión. El primero permite verificar el comportamiento de la conexión frente a las demandas, las cuales corresponden a la capacidad de la viga, por otro lado, el análisis de rigidez determina si la conexión es rígida, semirrígida o simple mediante la generación de un diagrama momento versus rotación ($M-\theta$).

Finalmente, en el apartado de resultados para el análisis esfuerzo/deformación, el programa verifica que las deformaciones no sobrepasen el 5% para las demandas establecidas y que los pernos y las soldaduras otorguen la resistencia necesaria.

5.3. Casos de estudio

Los casos de estudio a analizar en IdeaStática corresponden a ejemplos ya desarrollados en guías de diseño del AISC. En las siguientes figuras se puede observar el diseño final de dichos ejemplos.

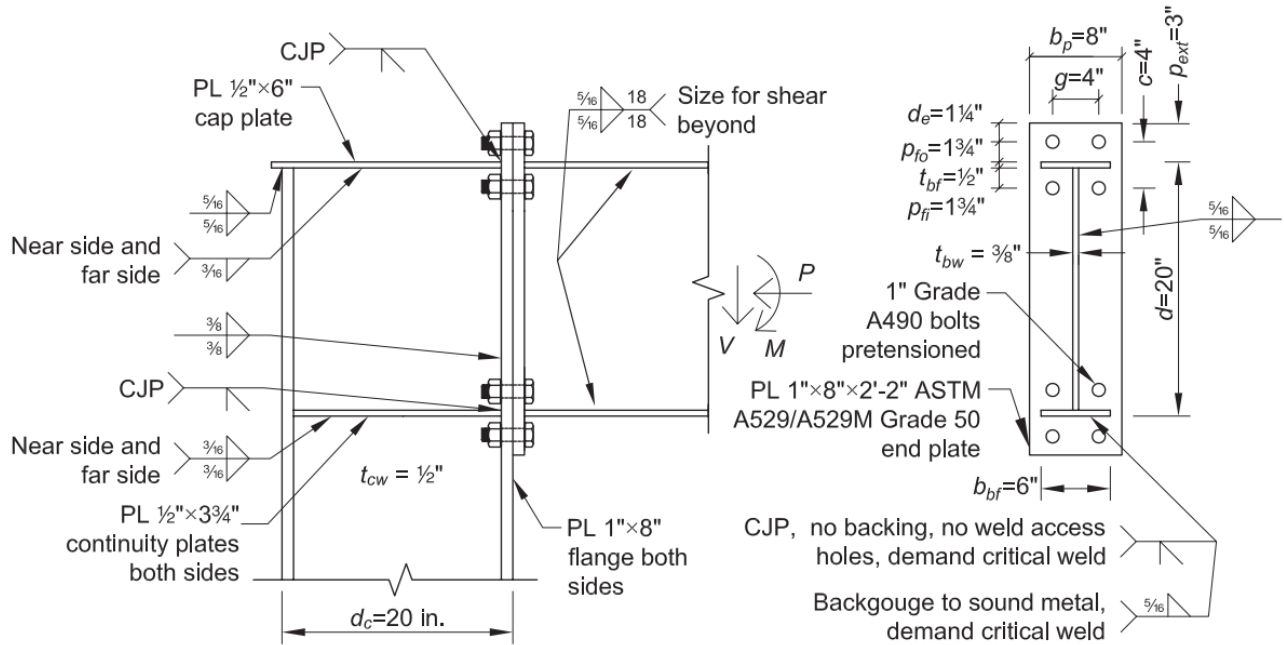


Figura 5.1 Ejemplo de conexión de plancha extrema no atiesada (dimensiones en pulgadas). Fuente: Ejemplo 6.3-1 AISC Design Guide 39, 2022.

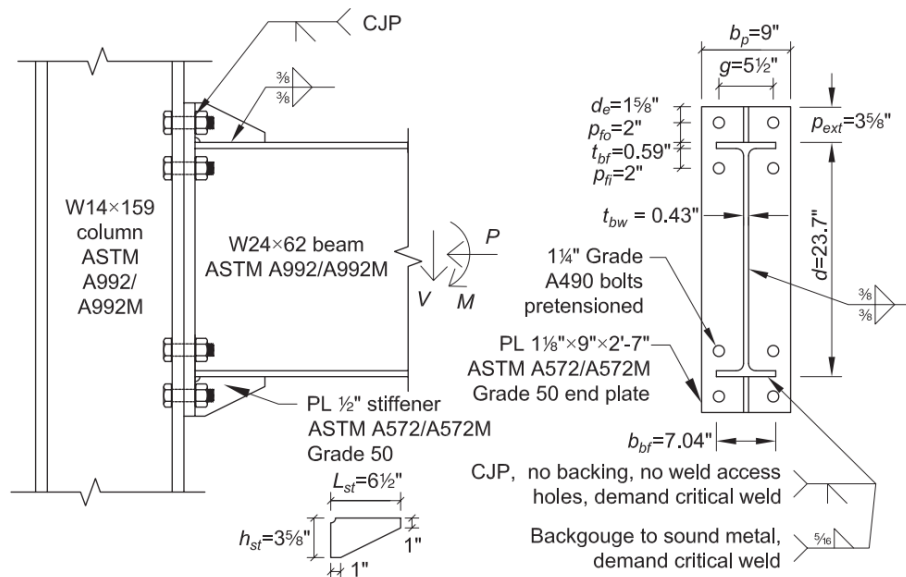


Figura 5.2 Ejemplo de conexión de plancha extrema atiesada (Dimensiones en pulgadas). Fuente: Ejemplo 6.3-2 AISC Design Guide 39, 2022.

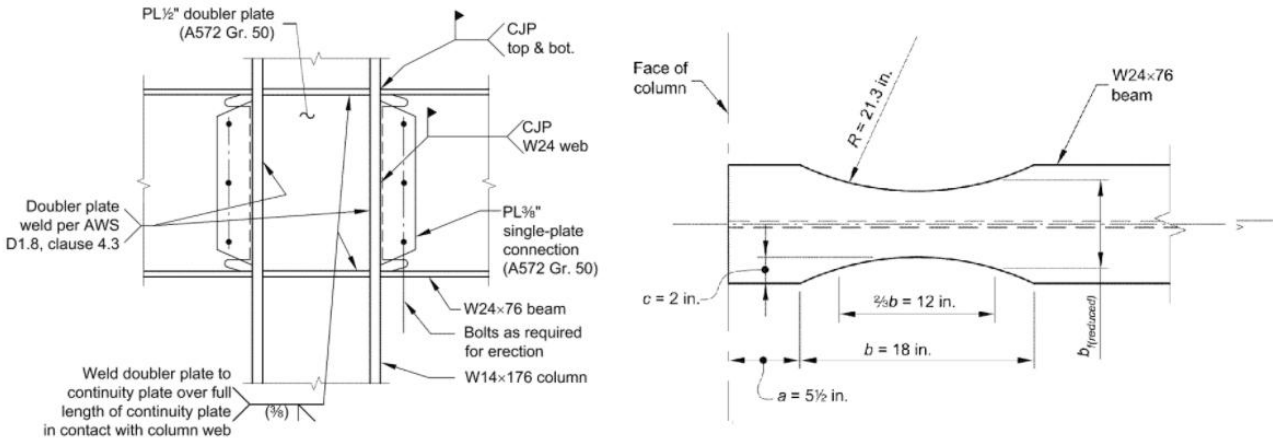


Figura 5.3 Ejemplo de conexión de sección de viga reducida (dimensiones en pulgadas). Fuente: Ejemplo 4.3.6 ANSI/AISC Seismic Design Manual, 2018.

En el ejemplo correspondiente a la Figura 5.1 el acero que compone el perfil de la viga, de la columna y de la plancha extrema corresponde al ASTM A529. Por otro lado, en el ejemplo de la Figura 5.3 la columna recibe dos vigas, en el diseño, este cambio sólo se ve reflejado en el último paso (verificaciones entre relaciones columna-viga según *AISC 341-16*), donde el momento a considerar para la razón entre momentos es igual a la suma del máximo momento probable en ambas vigas.

5.4. Consideraciones de modelación

Las conexiones de plancha extrema fueron verificadas con el código *ANSI/AISC 360-22* en el programa IdeaStática, mientras que, la conexión de sección de viga reducida fue verificada con el código *ANSI/AISC 360-16*. Los factores de reducción de resistencia fueron modificados para el modelado de las conexiones de plancha extrema, dado que, el documento *ANSI/AISC 358-22* sobrescribe los factores reductores de resistencia (considerando los modos de falla dúctiles y no-dúctiles) del código *ANSI/AISC 360-22*. Por otro lado, para la conexión de sección de viga reducida no se hace uso de dichos factores, y, en consecuencia, no se realizó ningún cambio.

La cantidad de elementos finitos por elemento estructural no se cambió con respecto al valor por defecto del programa. Además, para la determinación de la rótula plástica, se debe sumar la mitad de la altura de la columna al valor especificado en el capítulo de cada conexión, dado que, el origen del sistema de referencia se considera como el punto de unión entre el centro de la viga y el centro de la columna.

Los valores de momento y fuerza de corte corresponden a M_{pr} y V_h , ambos determinados en los pasos especificados en los capítulos de cada conexión. En adición, el mínimo esfuerzo de fluencia para cada conexión fue reemplazada por el resultado obtenido de amplificar el mínimo esfuerzo de fluencia por R_y y C_{pr} . Finalmente, la conexión fue restringida a cargas axiales, momento en el eje Y y fuerzas de corte en el eje Z.

A continuación, se presentan figuras de los modelos generados para cada tipo de conexión.

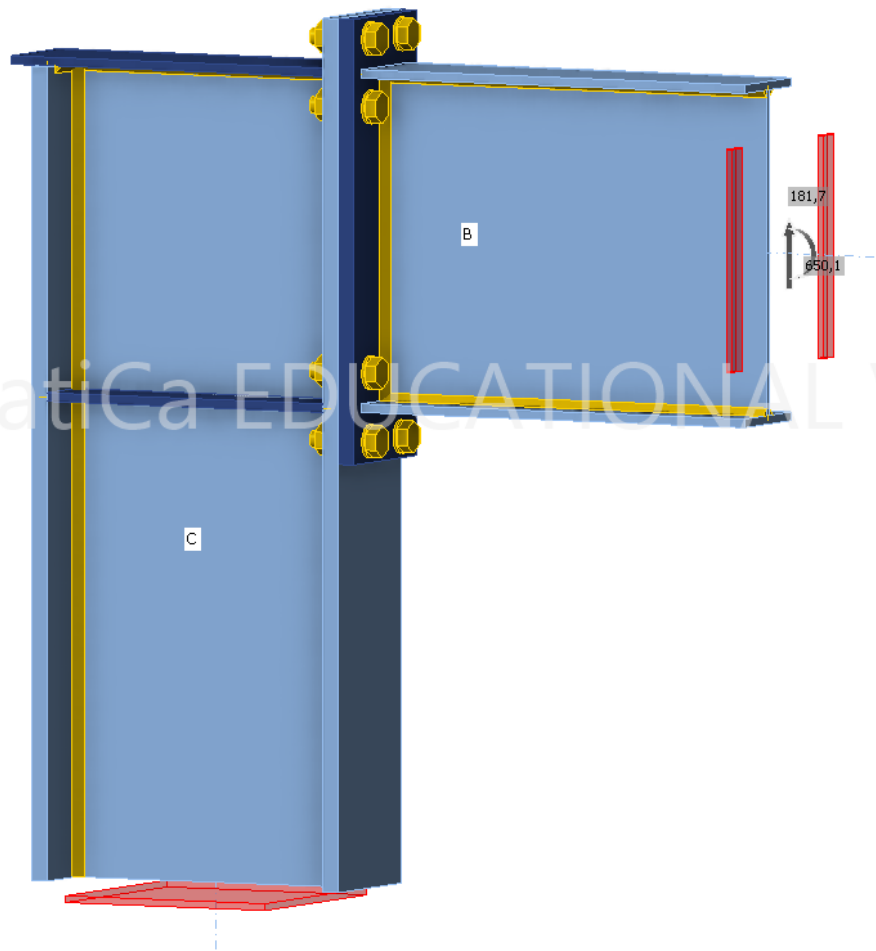


Figura 5.4 Modelo de conexión de plancha extrema no atiesada. Corte en kN y momento en kN-m.

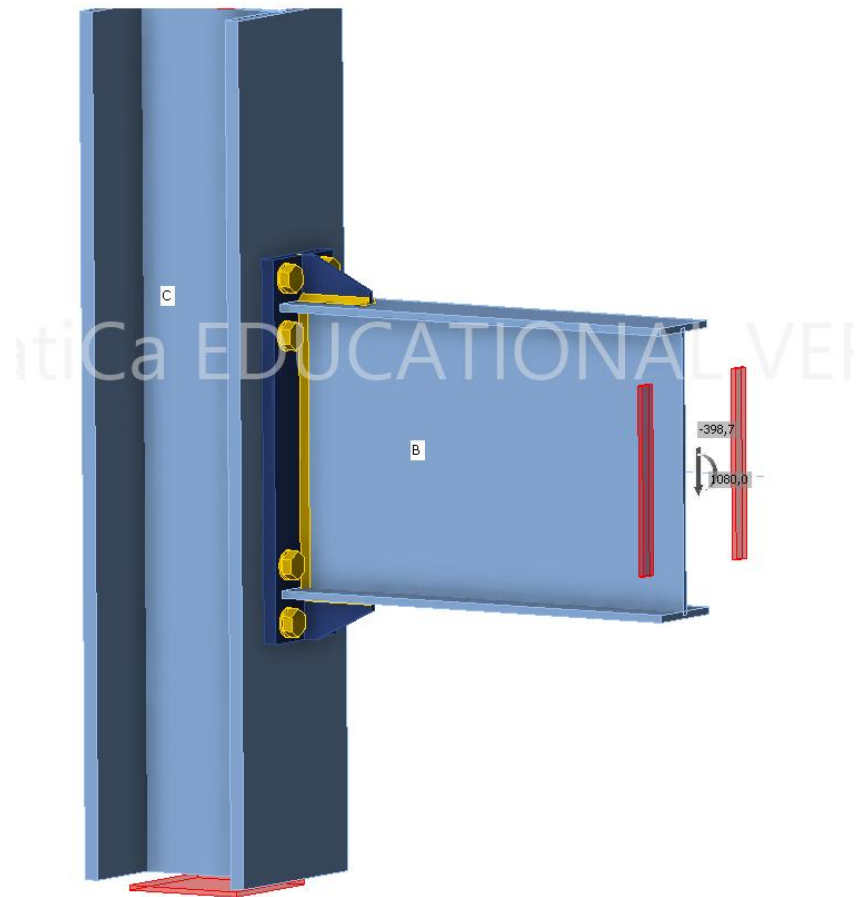


Figura 5.5 Modelo de conexión de plancha extrema atiesada. Corte en kN y momento en kN-m.

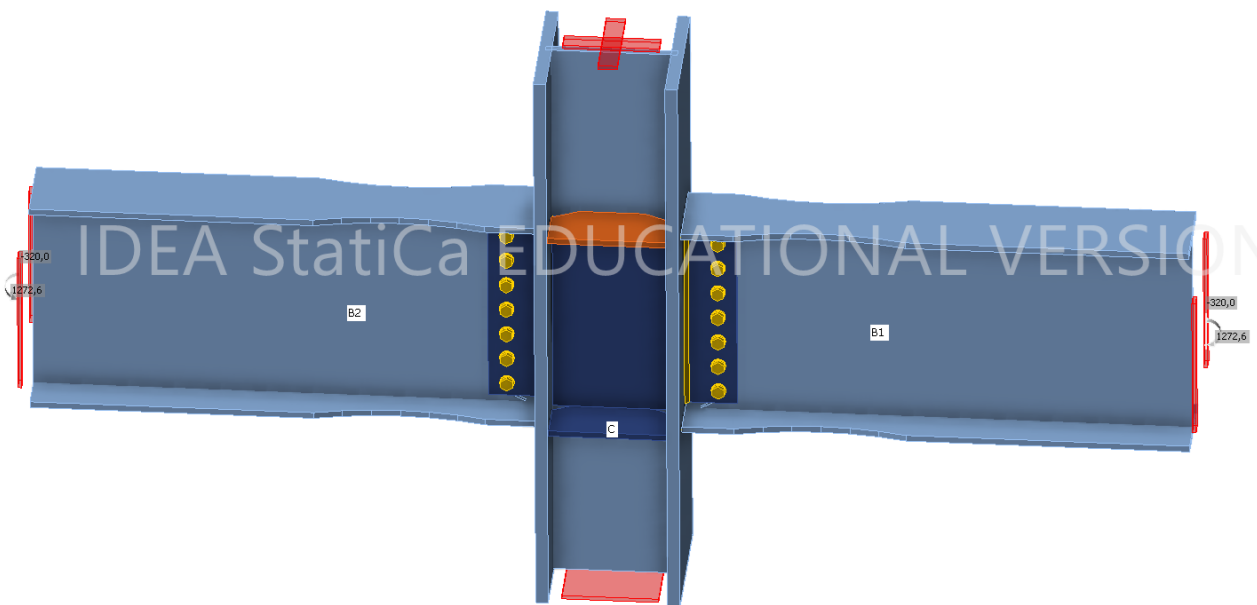


Figura 5.6 Modelo de conexión de sección de viga reducida. Corte en kN y momento en kN-m.

5.5. Resultados análisis esfuerzo/deformación

A continuación, se presentan los resultados del análisis esfuerzo/deformación para la combinación de carga M + V.

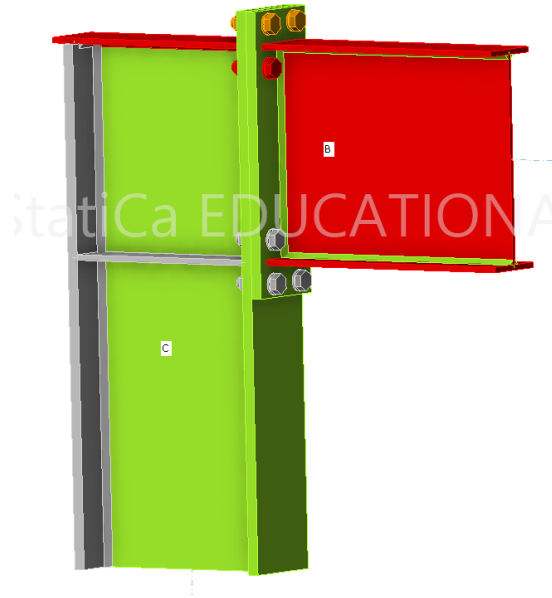


Figura 5.7 Conexión tipo 4E. En verde los elementos capaces de resistir las demandas aplicadas. En rojo aquellos que requieren revisión.

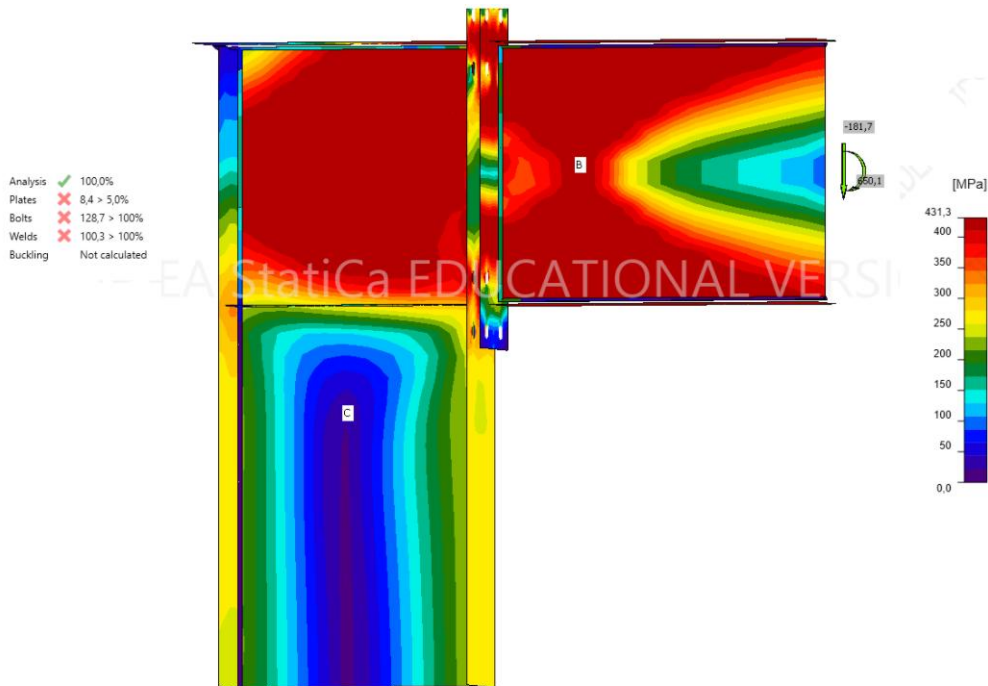


Figura 5.8 Diagrama de esfuerzos para conexión de tipo 4E, MPa.

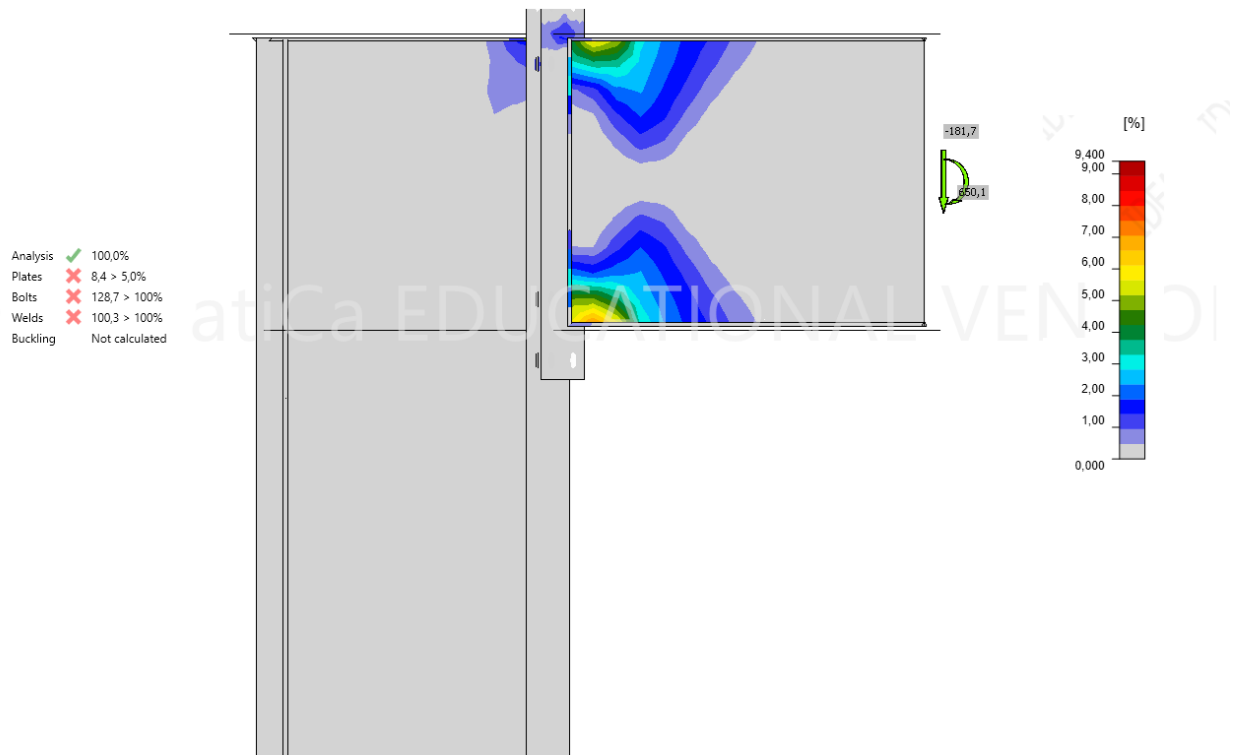


Figura 5.9 Diagrama de deformaciones plásticas para conexión tipo 4E. Los elementos en blanco se mantienen en el rango elástico.

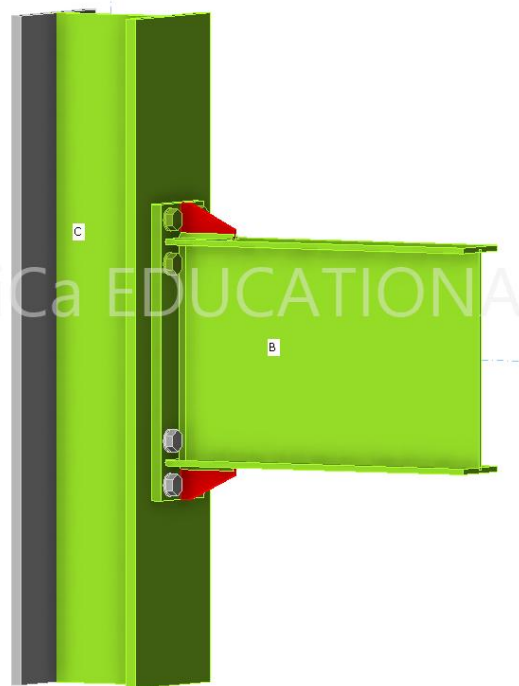


Figura 5.10 Conexión tipo 4ES. En verde los elementos capaces de resistir las demandas aplicadas. En rojo aquellos que requieren revisión.

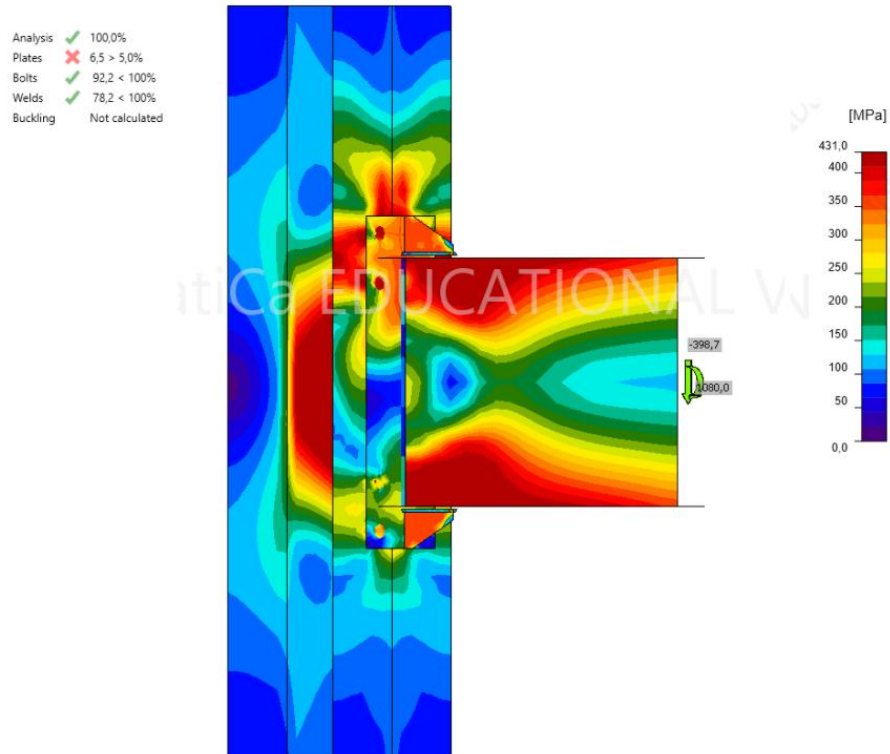


Figura 5.11 Diagrama de esfuerzos para conexión de tipo 4ES, MPa.

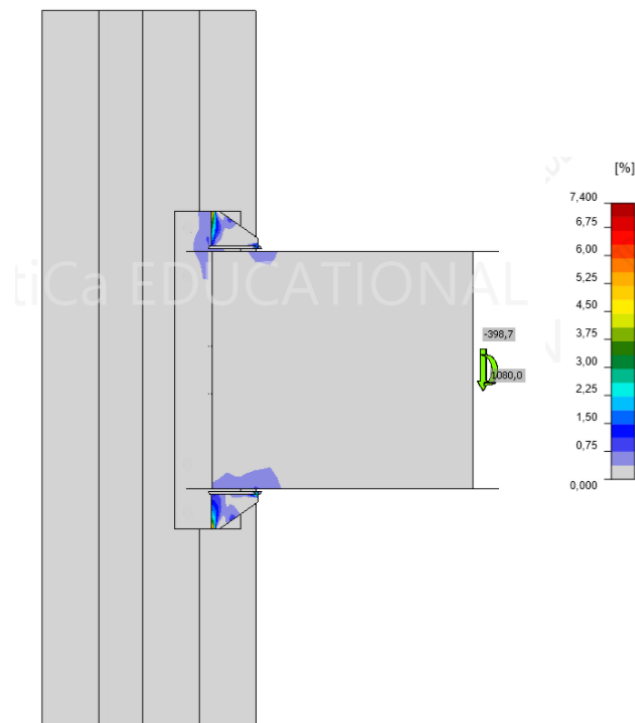


Figura 5.12 Diagrama de deformaciones plásticas para conexión tipo 4ES. Los elementos en blanco se mantienen en el rango elástico.

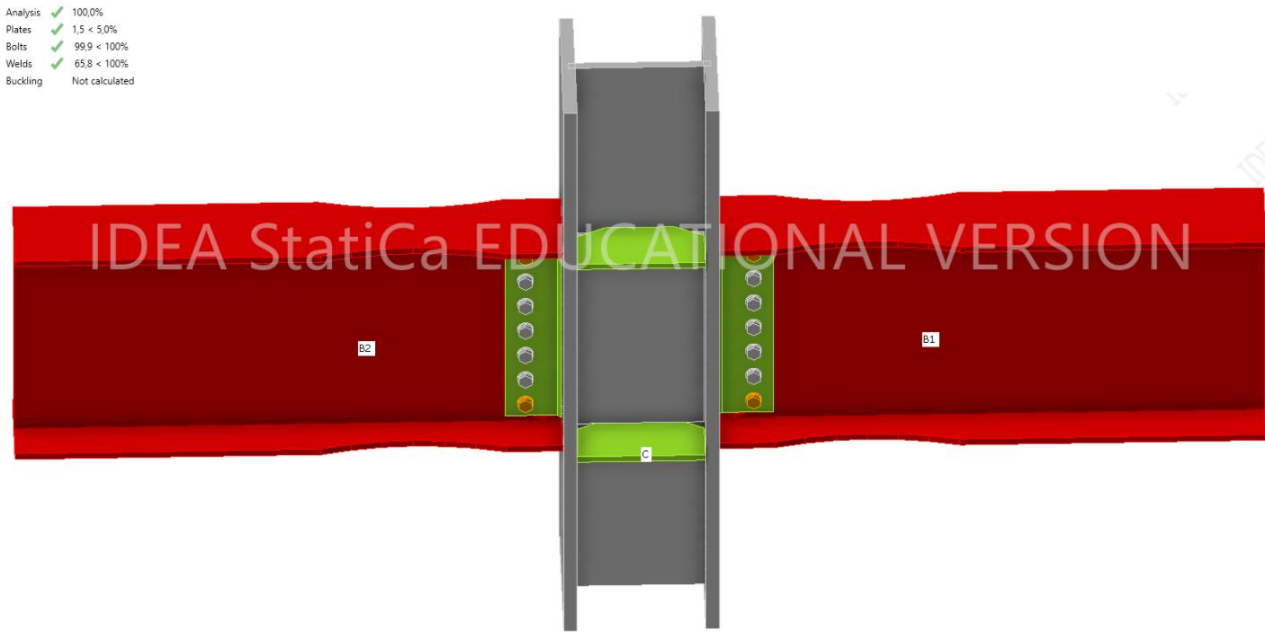


Figura 5.13 Conexión de sección de viga reducida. En verde los elementos capaces de resistir las demandas aplicadas. En rojo aquellos que requieren revisión

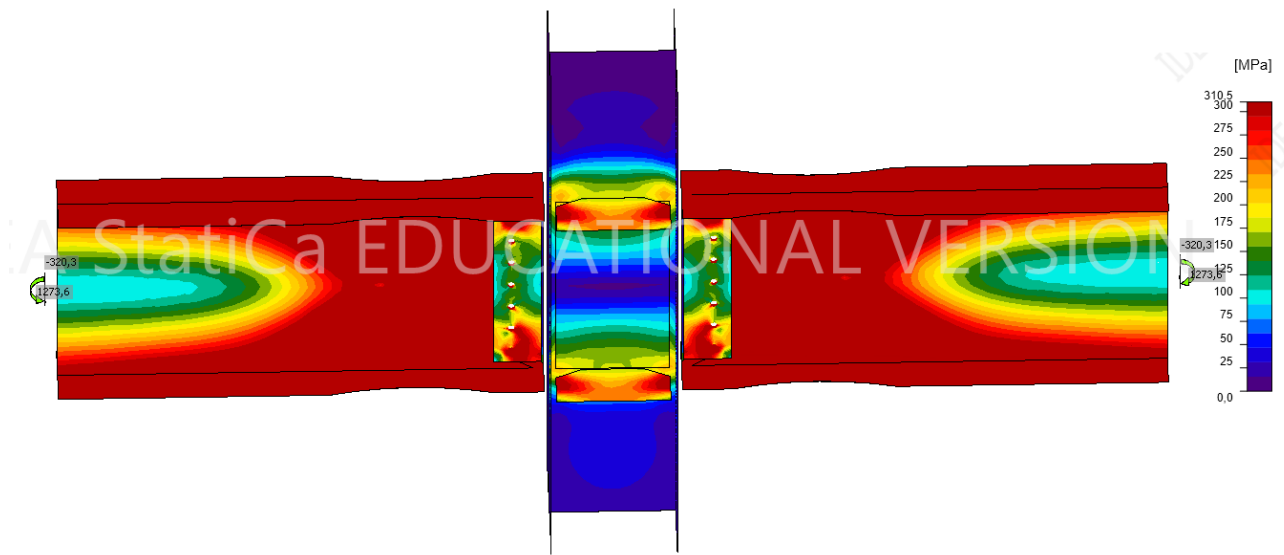


Figura 5.14 Diagrama de esfuerzos para conexión de sección de viga reducida, MPa.

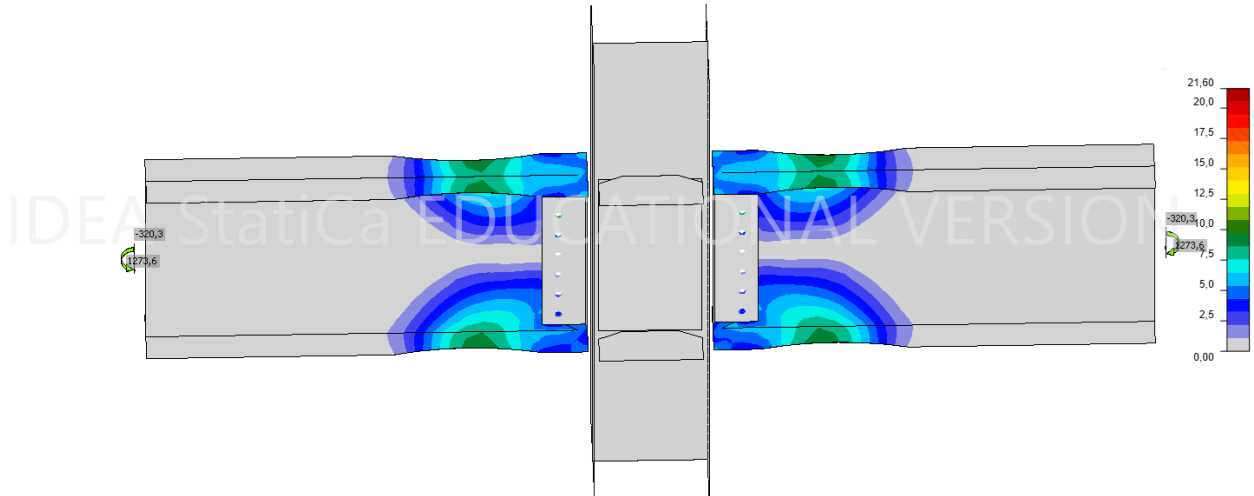


Figura 5.15 Diagrama de deformaciones plásticas para conexión de sección de viga reducida. Los elementos en blanco se mantienen en el rango elástico.

En el caso de los primeros resultados (Figura 5.7, Figura 5.10 y Figura 5.13) el código de colores mostrado indica lo siguiente.

- En gris los elementos que están trabajando dentro de un rango óptimo, de tal manera que pueden ser optimizados para reducir costos.
- En verde se muestran los elementos con un porcentaje de utilización entre el 60% y 95%.
- En naranja los elementos con un porcentaje de utilización entre el 95% y 100%.
- En rojo los componentes cercanos a fallar o que directamente sobrepasan el 100% de porcentaje de utilización.

El modelo no está incorrecto en el caso que las vigas aparezcan en color rojo como primer resultado visible del análisis, dado que, se espera que la rótula plástica se forme en la viga para las demandas correspondientes, implicando que las concentraciones de deformaciones plásticas deben localizarse en la zona prevista. Como se puede observar en la Figura 5.7, elementos como los pernos, partes de la viga o soldaduras fallan para las solicitaciones, dando a entender que se requiere una mayor resistencia por parte estos. Por otro lado, en el caso de la conexión atiesada, en la Figura 5.10 se observa que se requiere un mayor espesor para el atiesador.

Vale mencionar que, en el diseño realizado de acuerdo con la normativa disponible para la conexión de plancha extrema no atiesada presentaba factores de utilización bastante altos, es decir, la conexión estaba diseñada al límite.

Finalmente, se adjuntan los cambios que se realizaron por modelo para que estos cumplieran con el diseño mediante el *software* en conjunto con las figuras de los análisis para ambas conexiones de plancha extrema.

Cambios realizados en la conexión de plancha extrema no atiesada.

- Aumento del diámetro de los pernos de 25,4 mm (caso inicial) a 28,58 mm implicando cambios en el diseño de la plancha extrema.
- Aumento de 0,5 mm del espesor de la soldadura de doble filete entre la plancha de continuidad superior y la columna,
- Aumento del espesor del ala de la columna y del espesor de la plancha extrema de 25,4 mm a 28,5 mm.
- Aumento del ancho de la plancha de continuidad superior de 152,4 mm a 203,2 mm.

Cambios realizados en la conexión de plancha extrema atiesada.

- Aumento del espesor de los atiesadores de 12,7 mm a 19 mm.

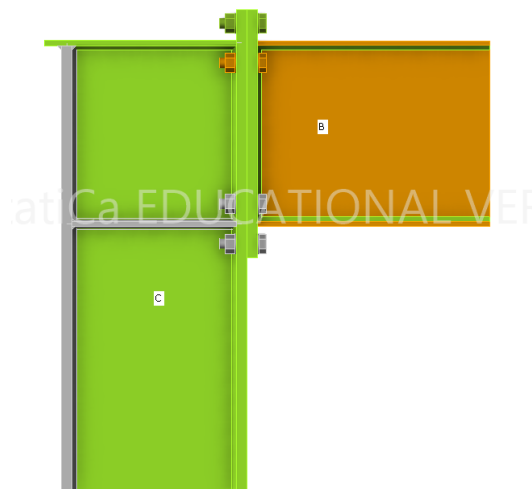


Figura 5.16 Conexión tipo 4E tras las modificaciones realizadas.

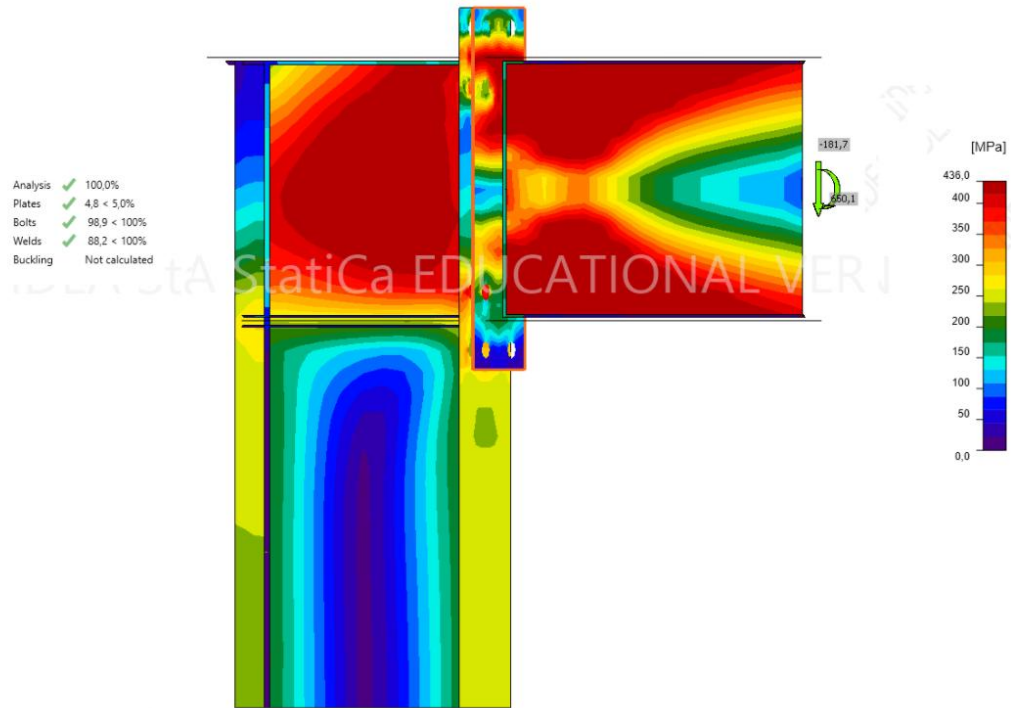


Figura 5.17 Conexión tipo 4E tras la modificaciones, diagrama de esfuerzos, MPa.

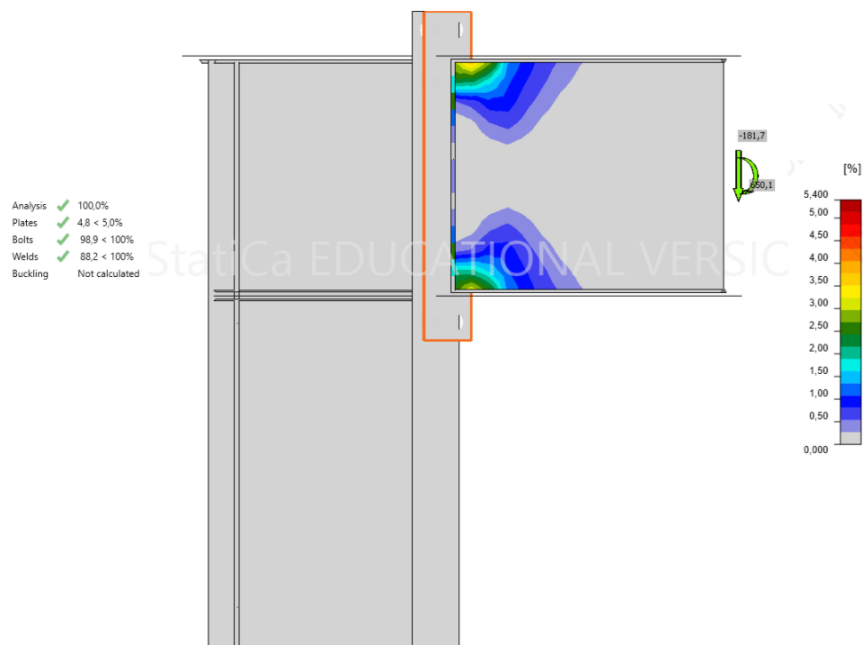


Figura 5.18 Conexión tipo 4E tras las modificaciones realizadas. Diagrama de deformaciones plásticas.

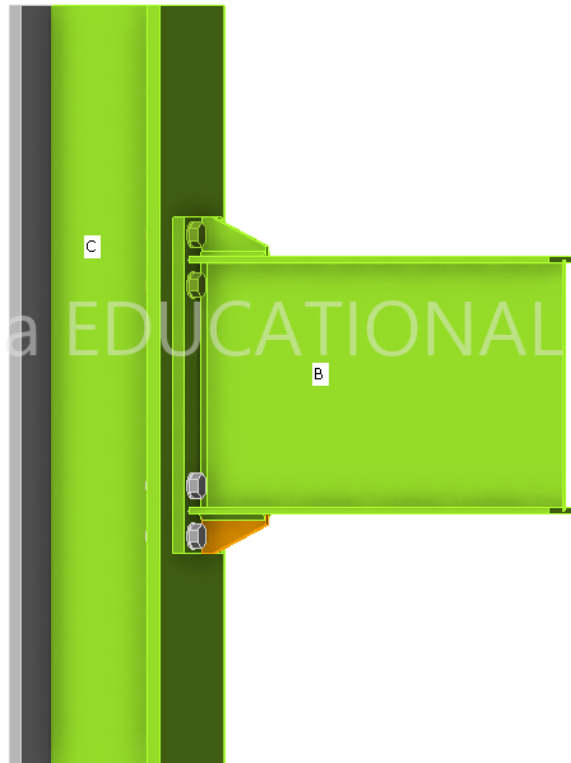


Figura 5.19 Conexión tipo 4ES tras el cambio de espesor de los atiesadores.

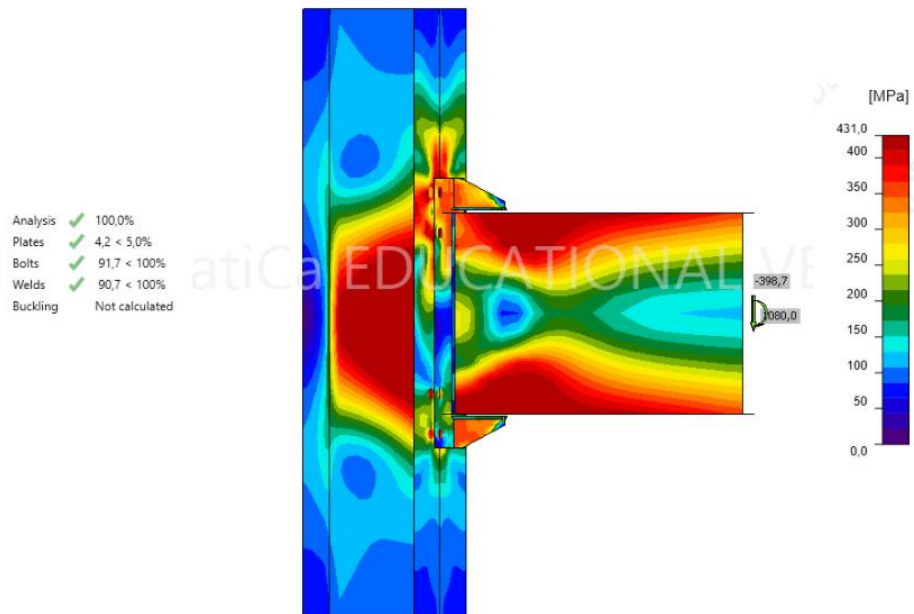


Figura 5.20 Conexión tipo 4ES tras la modificación realizada al espesor de los atiesadores, diagrama de esfuerzos, MPa.

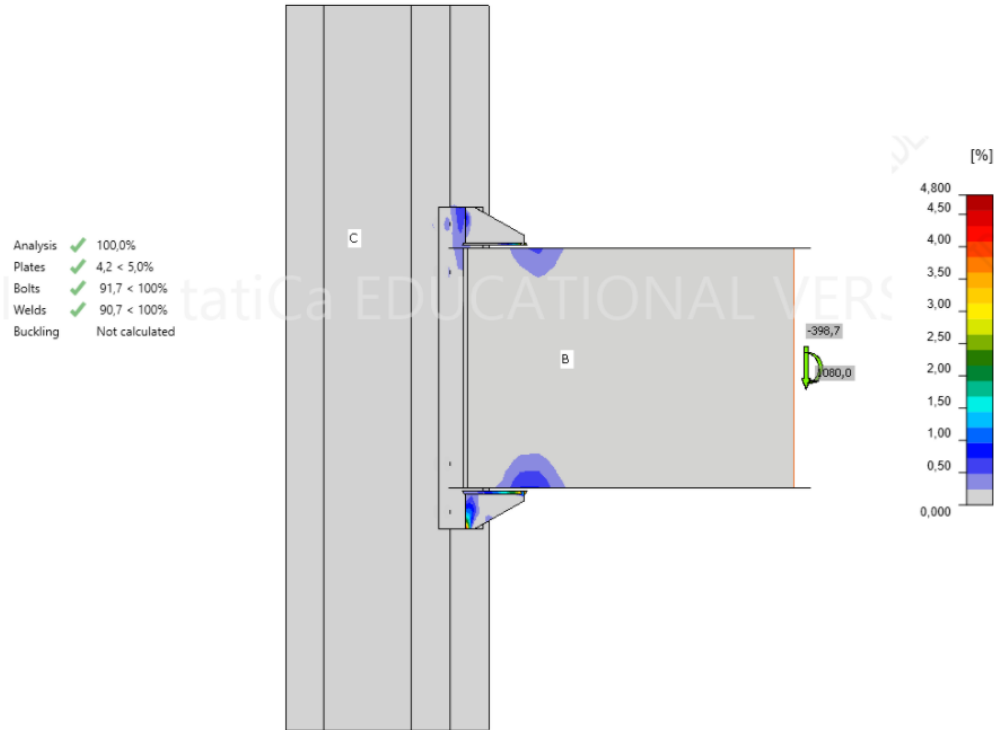


Figura 5.21 Conexión tipo 4ES tras las modificación realizada al espesor de los atiesadores. Diagrama de deformaciones plásticas.

5.6. Análisis de rigidez

El análisis de rigidez se hizo de acuerdo con lo propuesto por Wang et al. (2007), quien propone una metodología para medir la rigidez de una conexión de plancha extrema atiesada. Vale destacar, que las probetas utilizadas para generar este modelo están compuestas por una columna continua, como se puede ver en la Figura 5.22, y, por lo tanto, el único caso a analizar fue el de la conexión de plancha extrema con atiesadores.

Los supuestos empleados para este análisis son los siguientes.

- La deformación por tracción de los pernos debido al momento aplicado se aproxima a una distribución lineal, donde el eje neutro de la conexión corresponde a la mitad de la altura de la viga.
- Antes de que la plancha extrema se comience a separar del ala de la columna, la reacción de los pernos al momento flector se asume como linealmente distribuida, como se muestra en la Figura 5.23.



Figura 5.22 Set de ensayos para las probetas empleadas en el trabajo de Wang et al. (2022)

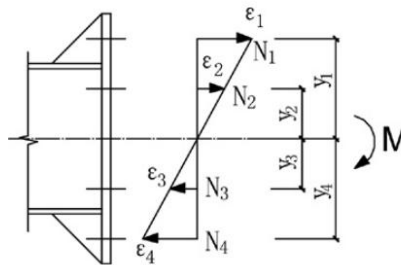


Figura 5.23 Distribución lineal de las fuerzas en los pernos para un momento aplicado.

Conforme se va incrementando el momento, los pernos en tracción pueden pasar por los siguientes tres estados.

Estado 1: El primer estado termina en el momento en que la plancha extrema se comienza a separar del ala de la columna. Dado que los pernos son pretensados, este estado terminará cuando la fuerza de tensión de los pernos debido al momento sea igual a la fuerza de pretensión. Se define la deformación límite de este estado ε_0 como la siguiente.

$$\varepsilon_0 = \frac{P}{\alpha \cdot E_b \cdot A_e} \tag{5.1}$$

Donde:

- P : Fuerza de pretensión de los pernos, N.
- α : Razón entre el área de contacto del perno y el área de su vástago. Considerado como 10 de manera conservadora.

- E_b : Módulo de elasticidad del acero del perno, MPa.
- n_t : Número de hilos del perno por mm, hilos/mm.

$$A_e = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d_b - \frac{0,9743}{n_t} \right)^2 \quad (5.2)$$

Estado 2: El segundo estado empieza por la separación de la plancha extrema del ala de la columna en una zona alrededor del perno y termina cuando los pernos fluyen en tensión. Durante este estado la fuerza de tensión en los pernos puede ser calculada por la siguiente expresión.

Para $\varepsilon_0 < \varepsilon_i \leq \varepsilon_{by} - \varepsilon_p$:

$$N_i = P + E_b \cdot A_e \cdot \varepsilon_i \quad (5.3)$$

Por otro lado, el límite superior de este estado viene dado por la siguiente expresión.

$$\varepsilon_{by} - \varepsilon_p = \frac{f_{by} \cdot A_e - P}{E_b \cdot A_e} \quad (5.4)$$

Donde:

- f_{by} : Esfuerzo de fluencia mínimo del acero que compone un perno, MPa.

$$\varepsilon_p = \frac{P}{E_b \cdot A_e} \quad (5.5)$$

Finalmente, la fuerza de tensión de un perno en fluencia es:

$$N_i = f_{by} \cdot A_e \quad (5.6)$$

Estado 3: El tercer estado empieza en la fluencia de los pernos en tracción y termina una vez que los pernos alcanzan la ruptura. Es decir, $\varepsilon_{by} - \varepsilon_p < \varepsilon_i \leq \varepsilon_{bu} - \varepsilon_p$, la fuerza de un perno en este estado viene dado por la siguiente ecuación.

$$N_i = f_{by} \cdot A_e + E_{bh} \cdot A_e \cdot (\varepsilon_i - \varepsilon_{by}) \quad (5.7)$$

Donde:

- E_{bh} : Módulo de endurecimiento de un perno. Se considera como $0,01 \cdot E_b$

Una vez el perno alcanza la resistencia última la fuerza de tracción corresponde a:

$$N_i = f_{bu} \cdot A_e \quad (5.8)$$

Donde:

- f_{bu} : Resistencia última a la tracción de un perno, MPa.

Ahora que se conocen los tres estados del perno conforme el momento va creciendo, se enumeran las condiciones que definen los puntos del diagrama de momento rotación.

1. La fuerza de contacto entre la plancha extrema y el ala de la columna en la primera fila de pernos es reducida a cero.
2. La fuerza de contacto entre la plancha extrema y el ala de la columna en la segunda fila de pernos es reducida a cero.
3. La primera fila de pernos entra en fluencia.
4. La segunda fila de pernos entra en fluencia.
5. La primera fila de pernos alcanza su resistencia última.

En cada uno de los pasos se determina la deformación de la primera y segunda fila de pernos. El promedio entre estos valores, Δ_{ep} , permite calcular la rotación de la plancha extrema mediante la siguiente expresión.

$$\phi_{ep} = \frac{\Delta_{ep}}{h_t} \quad (5.9)$$

Donde:

- h_t : Distancia entre los centroides de las alas de la viga, mm.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos mediante el análisis para la conexión atiesada.

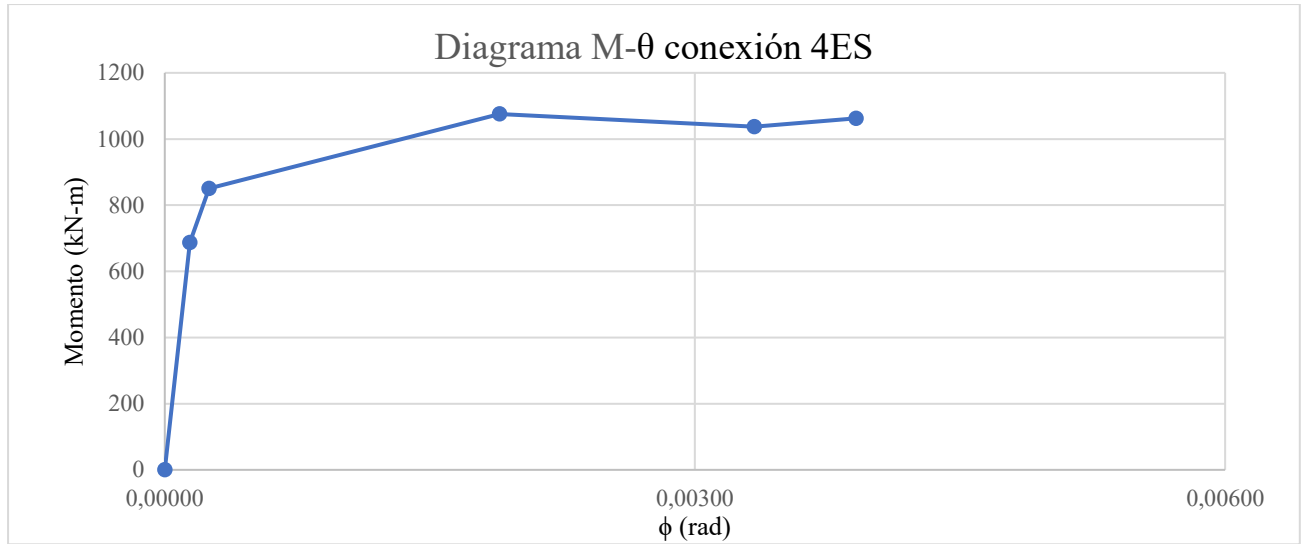


Figura 5.24 Diagrama de momento versus rotación para la conexión 4ES.

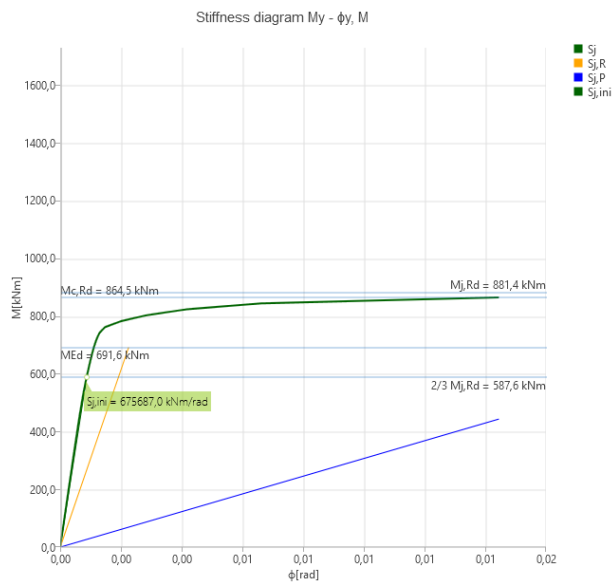


Figura 5.25 Diagrama de momento versus rotación para la conexión 4ES haciendo uso de IdeaStática.

Tomando en cuenta que el rango lineal de la conexión en la Figura 5.24 termina en un valor aproximado de 850 kN-m y que, por otro lado, el final del rango lineal en la Figura 5.25 termina en un valor de ~780 kN-m se puede afirmar que existe un margen de diferencia aproximadamente del 10% entre ambos valores.

5.7. Conclusiones

Este capítulo culmina el desarrollo y el contraste de las conexiones diseñadas tanto con IdeaStática como con las directrices otorgadas por la normativa vigente. Vale destacar que el modelo de elementos finitos puede discrepar en resistencias o espesores requeridos con los pasos desarrollados de acuerdo con lo dispuesto por el *AISC*, implicando potenciales cambios en el modelo generado con IdeaStática que pueden resultar más conservadores a la hora de diseñar.

CAPÍTULO 6: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El trabajo realizado ha recopilado la información necesaria para desarrollar conexiones de plancha extrema y de sección de viga reducida de acuerdo con la normativa vigente, reflejándose así en la implementación de planillas que faciliten el diseño de estas configuraciones.

El proceso de diseño con el *software* comercial IdeaStatica ha sido documentado mediante modelos y explicaciones del desarrollo de estos, con las modificaciones respectivas realizadas en casos particulares. Vale destacar el potencial ahorro de tiempo que esta herramienta presenta con respecto a la elaboración de una planilla de cálculo, permitiendo un flujo de trabajo ordenado y capaz de generar un reporte inmediato para cualquier tipo de conexión.

El *software* IdeaStatica entrega resultados más conservadores a los calculados por planilla, viéndose reflejado principalmente en los cambios realizados a modelos que, en principio, cumplían con todos los valores de resistencia requeridos de acuerdo con la teoría. En el caso diseñado al límite (conexión 4E), el programa indicó la necesidad de realizar cambios importantes en la geometría de la plancha y en algunas soldaduras.

Las diferencias entre los análisis de rigidez realizados mediante el modelo propuesto por Wang et al. (2007) y el realizado por IdeaStatica quedarán como motivación para futuras investigaciones en el tema.

Finalmente, tras considerar los puntos expuestos se afirma que el comportamiento de las conexiones de plancha extrema y de viga de sección reducida han sido analizados de acuerdo con la literatura, normativa y *software* correspondiente.

GLOSARIO

a	=	Distancia horizontal desde la cara de la columna hasta el inicio del corte de la sección de viga reducida, mm.
α	=	Razón entre el área de contacto del perno y el área de su vástago. Considerado como 10 de manera conservadora.
A_b	=	Área de un perno, mm ² .
A_g	=	Área de la sección transversal de la viga o columna, mm ² .
A_w	=	Área del alma, mm ² .
b	=	Longitud del corte de la sección de viga reducida, mm.
b_{bf}	=	Ancho del ala de la viga, mm.
b_{cf}	=	Ancho del ala de la columna, mm.
b_p	=	Ancho de la plancha extrema, mm.
c	=	profundidad del corte al centro de la sección de viga reducida, mm.
C_{v1}	=	Coefficiente de corte del alma.
d	=	Altura de la viga, mm.
d_b	=	Diámetro del perno escogido, mm.
d_c	=	Altura de la columna, mm.
Δ_{ep}	=	Deformación promedio entre la deformación de la primera y segunda fila de pernos.
E	=	Módulo de elasticidad del acero, MPa.
E_b	=	Módulo de elasticidad del acero que compone el perno, MPa
E_{bh}	=	Módulo de endurecimiento de un perno
ε_{by}	=	Deformación de fluencia mínimo de los pernos
ε_p	=	Deformación por pretensión de los pernos.

f_{bu}	=	Resistencia última a la tracción de un perno, MPa.
f_{by}	=	Esfuerzo de fluencia mínimo del acero que compone un perno, MPa.
F_{EXX}	=	Resistencia del electrodo empleado en la soldadura, MPa.
F_{fu}	=	Fuerza del ala de la viga factorizada. N.
F_{nv}	=	Esfuerzo de corte nominal de un perno, Mpa..
F_{up}	=	Esfuerzo de ruptura mínimo especificado del material de la plancha extrema, MPa.
F_{yb}	=	Mínimo esfuerzo de fluencia especificado el material de la viga, MPa.
F_{yc}	=	Mínimo esfuerzo de fluencia especificado el material de la columna, MPa.
F_{yp}	=	Mínimo esfuerzo de fluencia del material de la plancha extrema, MPa.
F_{ys}	=	Mínimo esfuerzo de fluencia del material del atiesador, MPa.
g	=	Distancia entre pernos de una misma fila en conexión de plancha extrema, mm.
h_{st}	=	Altura del atiesador, mm.
h_t	=	Distancia entre los centroides de las alas de las vigas, mm.
K_s	=	Módulo de rigidez de una conexión.
L	=	Luz libre entre columnas.
L_h	=	Distancia entre rótulas plásticas, mm.
L_w	=	Longitud de la soldadura de filete, mm.
M_f	=	Máximo momento probable en la cara de la columna. N-mm.
M_{pe}	=	Momento plástico de la viga basado en el esfuerzo de fluencia esperado, N-mm.
M_{pr}	=	Máximo momento probable en una viga. N-mm.
n_t	=	Número de hilos del perno por mm, hilos/mm.
P	=	Fuerza de pretensión de los pernos, N.

p_{fi}	=	Distancia entre el perno interno de una conexión de plancha extrema y el ala de la viga, mm.
p_{fo}	=	Distancia entre el perno externo de una conexión de plancha extrema y el ala de la viga, mm.
R_y	=	Razón entre el esfuerzo de fluencia esperado y el mínimo esfuerzo de fluencia
S_h	=	Distancia entre la columna y la rótula plástica.
t_{bf}	=	Espesor del ala de la viga, mm.
t_{bw}	=	Espesor del alma de la viga, mm.
t_{cf}	=	Espesor del ala de la columna, mm.
t_{cw}	=	Espesor del alma de la columna, mm.
t_p	=	Espesor de la plancha extrema.
t_s	=	Espesor del atiesador, mm.
V_h	=	Fuerza de corte de diseño para conexiones, N.
w_f	=	Tamaño de la soldadura de filete, mm.
Y_c	=	Mecanismo de línea de fluencia para columnas no atiesadas, mm.
Y_p	=	Parámetro de línea de fluencia
Z_b	=	Módulo plástico de una viga, mm ³ .
Z_{RBS}	=	Módulo de sección plástica al centro de la sección de viga reducida, mm ³ .

REFERENCIAS

American Institute of Steel Construction. (2023). *Design Guide 39 End-Plate Moment Connections* Chicago, Illinois, EE.UU.

American Institute of Steel Construction. (2016). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Moment Frames for Seismic Applications* (ANSI/AISC 358-16). Chicago, Illinois, EE.UU.

American Institute of Steel Construction. (2022). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Moment Frames for Seismic Applications* (ANSI/AISC 358-22). Chicago, Illinois, EE.UU.

American Institute of Steel Construction. (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 341-16). Chicago, Illinois, EE.UU.

American Institute of Steel Construction. (2022). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 341-22). Chicago, Illinois, EE.UU.

American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 360-16). Chicago, Illinois, EE.UU.

American Institute of Steel Construction. (2022). *Specification for Structural Steel Buildings* (ANSI/AISC 360-22). Chicago, Illinois, EE.UU.

American Welding Society. (2016). *Structural Welding Code – Seismic Supplement* (AWS D1.8-16). Doral, Florida, EE.UU.

Instituto Nacional de Normalización. (2025). *Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales*. (NCh2369.Of2025). Santiago, Chile.

Pourzenayli, Saeid & Shakeri, Ashkan. (2015) *A comparative study on the ductility and energy dissipation capacity of SMRF and V-EBF systems.*

Shi, Yongjiu & Shi, Gang & Yuanqing, Wang. (2007). *Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behavior of stiffened extended end-plate connections.* Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Tsinghua, Pekin, China.

ANEXO 1.1 CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. Seleccione a cuál o cuáles de los 17 ODS contribuye su trabajo de Memoria de Título:

- ODS-1 : Fin de la pobreza.
- ODS-2 : Hambre cero.
- ODS-3 : Salud y bienestar.
- ODS-4 : Educación de calidad.
- ODS-5 : Igualdad de género.
- ODS-6 : Agua limpia y saneamiento.
- ODS-7 : Energía asequible y no contaminante.
- ODS-8 : Trabajo decente y crecimiento económico.
- ODS-9 : Industria, innovación e infraestructura.
- ODS-10 : Reducción de las desigualdades.
- ODS-11 : Ciudades y comunidades sostenibles.
- ODS-12 : Producción y consumo responsables.
- ODS-13 : Acción por el clima.
- ODS-14 : Vida Submarina.
- ODS-15 : Vida de ecosistemas terrestres.
- ODS-16 : Paz, justicia e instituciones sólidas.
- ODS-17 : Alianzas para lograr los objetivos.

Vinculación
La memoria realizada se vincula de manera directa con el desarrollo de las conexiones mencionadas en ámbitos de infraestructura de edificios industriales, permitiendo implementaciones directas y confiables con las herramientas desarrolladas. Asimismo, promover una mayor cantidad de opciones de conexiones permite escoger la que genere menores pérdidas económicas, alineándose con el crecimiento económico del ODS-8.

ANEXO 2.1 PARÁMETROS DE LÍNEAS DE FLUENCIA DE LA PLANCHA EXTREMA Y DEL ALA DE LA COLUMNA

A continuación, se presentan los distintos parámetros de líneas de fluencia de la plancha extrema para conexiones de tipo 4E y 4ES.

TABLE 6.2	
Summary of Four-Bolt Extended Unstiffened End-Plate Yield Line Mechanism Parameter	
End-Plate Geometry and Yield Line Pattern	Bolt Force Model
End Plate	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{p_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{p_{fo}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} [h_2 (p_{fi} + s)]$
	$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}; \text{ Note: If } p_{fi} > s, \text{ use } p_{fi} = s.$

Figura A.2.1 Cálculo del parámetro de línea de fluencia de la plancha extrema para conexión tipo 4E.

TABLE 6.3
Summary of Four-Bolt Extended Stiffened
End-Plate Yield Line Mechanism Parameter

End-Plate Geometry and Yield Line Pattern		Bolt Force Model
Case 1 ($d_e \leq s$)	Case 2 ($d_e > s$)	
Case 1 ($d_e \leq s$)	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{\rho_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{\rho_{lo}} + \frac{1}{2d_e} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(\rho_{fi} + s) + h_1(d_e + \rho_{lo})]$	
Case 2 ($d_e > s$)	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{\rho_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{\rho_{lo}} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_2(\rho_{fi} + s) + h_1(s + \rho_{lo})]$	
$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g}; \text{ Note: If } \rho_{fi} > s, \text{ use } \rho_{fi} = s.$		

Figura A.2.2 Cálculo del parámetro de línea de fluencia para la plancha extrema en conexiones de tipo 4ES.

TABLE 6.5
Summary of Four-Bolt Extended Column
Flange Yield Line Mechanism Parameter

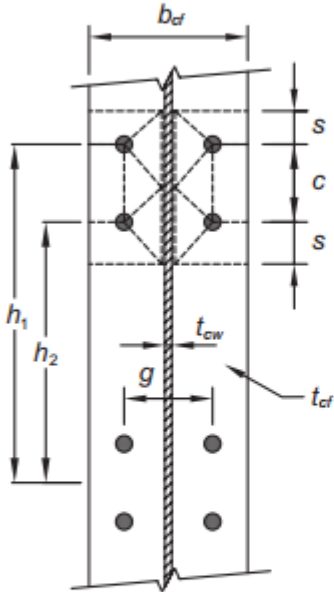
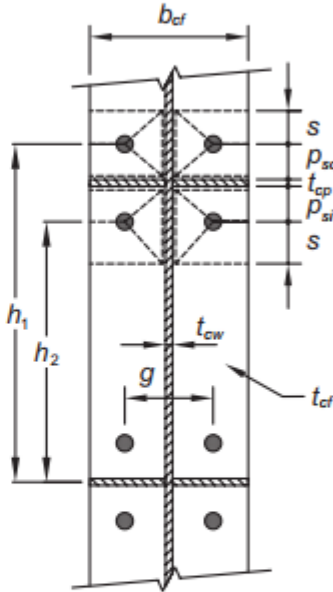
Unstiffened Column Flange Geometry and Yield Line Pattern	Stiffened Column Flange Geometry and Yield Line Pattern
	
<p>Unstiffened Column Flange</p>	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{s} \right) + h_1 \left(\frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_2 \left(s + \frac{3c}{4} \right) + h_1 \left(s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^2}{2} \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g}$
<p>Stiffened Column Flange</p>	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[h_2 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{si}} \right) + h_1 \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{p_{so}} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[h_2 (s + p_{si}) + h_1 (s + p_{so}) \right]$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g}; \text{ Note: If } p_{fi} > s, \text{ use } p_{fi} = s.$

Figura A.2.3 Cálculo del parámetro de líneas de fluencia del ala de la columna para conexiones 4E y 4ES

ANEXO 3.1 PLANILLAS DE DISEÑO.

A continuación, se presentan imágenes de las planillas de diseño generadas para los distintos tipos de conexiones.

Planilla de diseño de ejemplo de conexión 4E.

Planilla de cálculo para conexiones de momento con 4 pernos no atezadas, cambiar únicamente valores en rojo		
Propiedades pernos		
Descripción	ASTM F3125/3125M Pretensionado	
Tipo de perno	A490N	
Fnt	780	MPa
Fnv	469	MPa

Propiedades viga		
d	508,0	mm
tbw	9,5	mm
bbf	152,4	mm
tbf	12,7	mm
Ab	8467,7	mm ²
Zb Catálogo	1512526,0	mm ³
Zb Calculado	1513242,941	mm ³
¿Tiene atezadores transversales?	No	Leer nota!!
Distancia entre atezadores	0	mm

Propiedades columna		
dc	508,0	mm
tcw	12,7	mm
bcf	203,2	mm
tcf	25,4	mm
Ac	16129	mm ²

Luz libre entre columnas (L)	15,24	metros
	15240	mm

Figura A.3.1 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4E, parte 1.

Parte 1		Diseño de la plancha y los pernos	
Paso 1 .1		Cálculo del máximo momento probable M_{pr}	
¿Qué tipo de perfil es la viga?		Soldado	
¿Qué tipo de perfil es la columna?		Soldado	
Se debe verificar viga y columna en el paso 1.1			
Criterio de sección de la viga altamente dúctil (AISC 341-22)			
Verificación del ala			
b/t		6,00	
Ry		1,1	
λ_{hd}		6,89	0,3 raíz de E/RyFy
¿Es altamente dúctil?	Sí, el ala de la viga es altamente dúctil		
Verificación del alma de la viga			
Método de diseño	LRFD		
α_s		1	
Pr		156000	N
Ca		0,0485	
λ_{hd}		51,18	
h/tw		51	
¿Es altamente dúctil?	Sí, el alma de la viga es altamente dúctil		
Criterio de sección de la columna altamente dúctil (AISC 341-22)			
Verificación del ala			
b/t		4,00	
λ_{hd}		6,89	0,3 raíz de E/RyFy
¿Es altamente dúctil?	Sí, el ala de la columna es altamente dúctil		
Verificación del alma de la viga ¿Se verifica con el corte actuando en la viga?			
α_s		1	
Pr		89000	N
Ca		0,0145	
λ_{hd}		55,49	
h/tw		36	
¿Es altamente dúctil?	Sí, el alma de la columna es altamente dúctil		
Verificación de la razón entre luz libre y altura de la viga es mayor o igual a 7			
Lc/d		29	
¿Es mayor a 7?	Sí, es mayor o igual a 7		
Cálculo del momento plástico de la sección			
Cpr		1,15	
M_{pr}		659688218	N-mm

Figura A.3.2 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4E, parte 2.

Paso 1.2		Determinar la distancia entre la cara de la columna y la rótula plástica, S_h y la distancia entre rótulas plásticas, L_h	
S_h		254	mm
L_h		14224	mm
Paso 1.3		Cálculo de la fuerza de corte en la rótula plástica	
V_h		181757,1	N
Paso 1.4		Cálculo del máximo momento probable en la cara de la columna, M_f	
M_f		705854511,5	N-mm
Paso 1.5		Selección de la configuración de la conexión y establecimiento de su geometría	
g		101,6	mm
p_{fo}		44,45	mm
p_{fi}		44,45	mm
Los valores están verificados con sus respectivos límites en la parte de arriba			
h_1		546,1	mm
h_2		444,5	mm
Paso 1.6		Cálculo del diámetro de perno requerido	
ϕ_n		0,9	
db, req		25,4	mm
Paso 1.7		Selección del diámetro del perno a utilizar	
db		25,4	mm
Paso 1.8		Determinar el espesor requerido de la plancha	
$b_{p, eff}$		177,8	mm
s		67,20	mm
¿es p_{fi} mayor que s ?	NO		
Y_p		3502	mm
ϕ_d		1,00	
$t_{p, req}$		25,47	mm
Paso 1.9		Selección del espesor de la plancha a utilizar	
t_p		25,4	mm
Paso 1.10		Calcular la fuerza del ala de la viga	
F_{fu}		1425105	N

Figura A.3.3 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4E, parte 3.

Paso 1.11		Chequeo de fluencia por corte de la porción extendida de la plancha	
Límite $F_{fu}/2$		712553	N
f			
ϕ_d		1,00	
$\phi_d R_n$		934836,84	N
Verificación	OK		
Paso 1.12		Chequeo de ruptura por corte de la porción extendida de la plancha	
$\phi_n R_n$		743517	N
Verificación	OK		
Paso 1.14		Chequeo de la resistencia de la viga al corte	
V_u		181757,1	N
h/t_w		50,7	
k_v		5,34	
Límite h/t_w		61,2	
$\dot{h}/t_w \leq \text{Límite?}$	SI		
C_v		1	
ϕ_v		0,9	
$\phi_v V_n$		901450	N
Verificación	OK		
Paso 1.15		Determinar la resistencia al corte requerida	
Fue determinada en el paso 1.3, $V_u = 182 \text{ kN}$			
Paso 1.16		Resistencia a ruptura por corte del perno	
V_u		181757,1	N
n_b		4	
A_b		506,7	mm ²
$\phi_n R_n$		855525	N
Verificación	OK		
Paso 1.17		Verificación falla por aplastamiento de la plancha y el ala de la columna	
Verificación plancha cabezal			
Bearing		693676,032	N
L_c		73,0	mm
Tearout		997159,296	N
r_n		693676,032	N
$\phi_n R_n$		2497233,715	N
$\dot{R}_n \geq V_u?$	CUMPLE		
Verificación ala de la columna			
l_{ci}		73,0	mm
r_{ni}		693676,032	N
r_{no}		693676,032	N
$\phi_n R_n$		2497234	N
$\dot{R}_n \geq V_u?$	OK		

Figura A.3.4 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4E, parte 4.

Paso 1.18	Diseño de la soldadura
------------------	-------------------------------

Soldadura entre el ala de la viga y la plancha		
tweld,req	7,144	mm
tw	8,000	
tw > tweld,req	CUMPLE	
Lweld,req	457,2	mm
Lw	460	
Lw > Lweld,req	CUMPLE	
Soldadura entre el alma de la columna y las alas de la columna		
tweldc,req	9,525	mm
twc	10	mm
twc > tweldc,req	CUMPLE	
Lweldc,req	508	mm
Lwc	508	mm
Lwc > Lweldc,req	CUMPLE	
Soldadura entre el alma de la viga y la plancha desde el punto más cercano de las alas hasta 6 in. Más arriba/abajo del perno más interno (Denominada zona de tensión)		
Ru	3286,125	N/mm
twin	8	mm
Awe	5,66	mm ²
kds	1,5	
Fnw	289,2	MPa
Rn	4908	N7mm
φ	0,75	
φRn	3680,92	N/mm
Verificación	CUMPLE	
Soldadura entre el alma de la viga y la plancha fuera de la zona de tensión		
twout	8	mm
Vu	181757,1	N
Rn	311650,8	N
Verificación	CUMPLE	

Figura A.3.5 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4E, parte 5.

Parte 2	Diseño por el lado de la columna
----------------	---

Paso 2.1	Fluencia por flexión del ala de la columna
-----------------	---

Ala superior de la viga en tensión		
Espesor plancha de continuidad	Distinto al espesor del ala de la viga	
s	71,84	mm
psi	44,3	mm
ps0	44,3	mm
Yc	3866,0	mm
tcf,req	24,237	mm
¿tcf>=tcf,req?	CUMPLE	
Ala inferior de la viga en tensión		
c	101,6	mm
s	71,84	mm
Ycu	3894	mm
tcf,req	24,150	mm
¿tcf>=tcf,req?	CUMPLE	

Paso 2.2	Resistencia a la flexión disponible del ala de la columna para obtener demanda en la plancha de continuidad
-----------------	--

¿Se requiere calcular?	No es necesario	
φdMcf top flange	860485285,6	N-mm
φdMcf bottom flange	866736181,9	N-mm
φdMcf	860485285,6	N-mm
φdRn	1737301,2	N

Paso 2.3	Fluencia local del alma de la columna
-----------------	--

kc	33,40	mm
Distancia	0	mm
Ct	0,5	
lb	71,50	mm
φdRn	752304	N
Ffu	1425105	N
¿φdRn>Ffu?	Se requieren planchas de continuidad	

Figura A.3.6 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4E, parte 6.

Paso 2.4	Pandeo local "Crippling" en el alma de la columna
-----------------	--

lb/dc	0,141	
ϕ	0,75	
Rn	1742067,7	N
ϕ Rn	1306550,8	N
$\phi \phi dRn > Ffu?$	Se requieren planchas de continuidad	

Paso 2.5	Soldaduras y planchas de continuidad
-----------------	---

Ffu	1425105	N
min Rn	752303,55	N
Ffsu	672801	N
tcp,req	6,35	mm
tcp	13	mm
$\phi tcp > tcp, req?$	CUMPLE	
K	1,0	
L	457,2	mm
Lc	457,2	mm
Agcp	2496	mm ²
Pn	861120	mm
ϕ	0,90	
ϕPn	775008	N
$\phi \phi Pn > Ffsu?$	CUMPLE	

Soldadura de la plancha de continuidad

clip	19	mm
lcpw	419,2	mm
lcpf	77	mm

Soldadura CJP de acuerdo con AISC Seismic Provisions E3.6f.2c. **Leer nota!**

Ru1	690690	N
Ru2	2256134,4	N
Puc	181757	N
Py	5564505	N
Puc/Py	0,03	
Ru3	1495739	N
Ru	690690	N

Soldadura entre el alma de la columna y la plancha de continuidad

tweldcpw	5	mm
Rn	1714488	N
ϕ Rn	1285866	N
$\phi \phi Rn > Ru?$	CUMPLE	

Chequeo de la resistencia a ruptura al corte de la soldadura entre el alma de la columna y las planchas de continuidad

Rn	2862096,384	N
ϕ	0,75	
ϕRn	2146572	N
$\phi \phi Rn > Ru?$	CUMPLE	

Paso 2.6	Corte en la zona panel
-----------------	-------------------------------

Vupz	1347105	kips
Ru3	1495738,944	kips
ϕ	1,00	
ϕRn	1495738,944	kips
$\phi \phi Rn > Vupz?$	CUMPLE	
Mínimo espesor de la zona panel		
dz	482,6	in
wz	457,2	in
tcw,req	10,4	in
tcw	12,7	in
$\phi tcw > tcw, req?$	CUMPLE	

Figura A.3.7 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4E, parte 7.

Planilla de diseño de ejemplo de conexión 4ES.

Planilla de cálculo para conexiones de momento con 4 pernos atezadas, modificar únicamente valores en rojo		
Propiedades pernos		
Descripción	ASTM F3125/3125M Pretensionado	
Tipo de perno	A490N	
Fnt	780	MPa
Fnv	469	MPa

Propiedades viga W24x62		
d	603,00	mm
tbw	10,90	mm
bbf	179,00	mm
tbf	15,00	mm
Ab	11615,70	mm ²
Zb Catálogo	2507221	mm ³
Zb Calculado	2473477	mm ³
¿Tiene atezadores transversales?	No	Leer nota!!
Distancia entre atezadores	0	mm

Propiedades columna W14x159		
dc	380	mm
tcw	18,9	mm
bcf	395	mm
tcf	30,2	mm
Ac	29898,44	mm ²
Zc Catálogo	4703087	mm ³
Zc Calculado	4655395	mm ³
kc	45,5	mm

Luz libre entre columnas (L)	9,144	metros
	9144	milímetros

Figura A.3.8 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4ES, parte 1.

Parte 1		Diseño de la plancha y los pernos	
Paso 1 .1		Cálculo del máximo momento probable M_{pr}	
¿Qué tipo de perfil es la viga?		Soldado	
¿Qué tipo de perfil es la columna?		Laminado	
Sólo se verifica la viga en el paso 1.1			
Criterio de sección de la viga altamente dúctil (AISC 341-22)			
Verificación del ala			
b/t		5,97	
Ry		1,1	
λ_{hd}		6,89	0,3 raíz de E/RyFy
¿Es altamente dúctil?	Sí, el ala de la viga es altamente dúctil		
Verificación del alma de la viga			
Método de diseño		LRFD	
α_s		1	
Pr		124550	N
Ca		0,0283	
λ_{hd}		53,73	
h/tw		53	
¿Es altamente dúctil?	Sí, el alma de la viga es altamente dúctil		
Criterio de sección de la columna altamente dúctil (AISC 341-22)			
Verificación del ala			
b/t		6,54	
λ_{hd}		6,89	0,3 raíz de E/RyFy
¿Es altamente dúctil?	Sí, el ala de la columna es altamente dúctil		
Verificación del alma de la viga ¿Se verifica con el corte actuando en la viga?			
α_s		1	
Pr		138000	N
Ca		0,0122	
λ_{hd}		55,80	
h/tw		52,57	
¿Es altamente dúctil?	Sí, el alma de la columna es altamente dúctil		
Verificación de la razón entre luz libre y altura de la viga es mayor o igual a 7			
Lc/d		14,5	
¿Es mayor a 7?	Sí, es mayor o igual a 7		
Cálculo del momento plástico de la sección			
Cpr		1,15	
Mpr		1093524348	N-mm

Figura A.3.9 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4ES, parte 2.

Paso 1.2		Determinar la distancia entre la cara de la columna y la rótula plástica, S_h y la distancia entre rótulas plásticas, L_h	
S_h		187,93	mm
L_h		8388	mm
Paso 1.3		Cálculo de la fuerza de corte en la rótula plástica	
V_h		398731,0	N
		398,7309851	
Paso 1.4		Cálculo del máximo momento probable en la cara de la columna, M_f	
M_f		1168457333,9	N-mm
		1168,457334	
Paso 1.5		Selección de la configuración de la conexión y establecimiento de su geometría	
g		139,7	mm
p_{fo}		50,8	mm
p_{fi}		50,8	mm
Los valores están verificados con sus respectivos límites en la parte de arriba			
h_1		646,3	mm
h_2		529,7	mm
Paso 1.6		Cálculo del diámetro de perno requerido	
ϕ_n		0,9	
db_{req}		30,02	mm
Paso 1.7		Selección del diámetro del perno a utilizar	
db		31,75	mm
Paso 1.8		Determinar el espesor requerido de la plancha	
$b_{p,eff}$		204,40	mm
s		84,49	mm
¿es p_{fi} mayor que s ? (Conexión no atiezada) ¿es de mayor que s ? (Conexión atiezada)	SI		
γ_p		6066	mm
ϕ_d		1,00	
$t_{p,req}$		24,89	mm
Paso 1.9		Selección del espesor de la plancha a utilizar	
t_p		28,58	mm
Paso 1.10		Calcular la fuerza del ala de la viga	
F_{fu}		1987172	N

Figura A.3.10 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4ES, parte 3.

Paso 1.11		Chequeo de fluencia por corte de la porción extendida de la plancha	
¿Es necesario verificar?	No, no es necesario verificar dado que tiene atizador		
Límite $Ffu/2$	993586	N	
ϕ			
ϕ_d	1,00		
$\phi_d Rn$	1209242,664	N	
Verificación	OK		
Paso 1.12		Chequeo de ruptura por corte de la porción extendida de la plancha	
¿Es necesario verificar?	No, no es necesario verificar dado que tiene atizador		
$\phi_n Rn$	972464	N	
Verificación	Cambiar valores plancha		
Paso 1.13		Escoger el espesor del atizador y diseño de la soldadura del atizador	
$t_{s,req}$	10,9	mm	
t_s	13	mm	
hst/t_s	7,076923077		
Límite	13,5		
Soldadura de doble filete, si el espesor del atizador es mayor a 3/8 de pulgadas, entonces CJP es requerido entre el atizador y la plancha. Se calcula soldadura entre el atizador y el ala de la viga, para lo cual se acepta doble filete.			
R_u	2691,0	N/mm	
ϕ	0,75		
ϕR_n	2914,1	N/mm	
Verificación	OK		
Paso 1.14		Chequeo de la resistencia de la viga al corte	
V_u	398731,0	N	
h/t_w	52,6		
k_v	5,34		
Límite h/t_w	61,2		
¿ $h/t_w \leq$ Límite?	SI		
C_v	1		
ϕ_v	0,9		
$\phi_v V_n$	1224494	N	
Verificación	OK		
Paso 1.15		Determinar la resistencia al corte requerida	
Fue determinada en el paso 1.3, $V_u = 399$ kN			
Paso 1.16		Resistencia a ruptura por corte del perno	
V_u	398731,0	N	
n_b	4		
A_b	791,730	mm ²	
$\phi_n R_n$	1336758	N	
Verificación	OK		
Paso 1.17		Verificación falla por aplastamiento de la plancha y el ala de la columna	
Verificación plancha cabezal			
Bearing	975652,608	N	
l_c	81,68	mm	
Tearout	1254904,358	N	
r_n	975652,608	N	
$\phi_n R_n$	3512349	N	
¿ $R_n \geq V_u$?	CUMPLE		
Verificación ala de la columna			
l_{ci}	81,68	mm	
r_{ni}	1030955,52	N	
r_{no}	1030955,52	N	
$\phi_n R_n$	3711439,872	N	
¿ $R_n \geq V_u$?	CUMPLE		

Figura A.3.11 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4ES, parte 4.

Paso 1.18		Diseño de la soldadura	
Soldadura entre el ala de la viga y la plancha			
tweld,req		8,175	mm
tw		8,500	
tw > tweld,req	CUMPLE		
Lweld,req		537	mm
Lw		550	mm
Lw>Lweld,req	CUMPLE		
Soldadura entre el alma de la columna y las alas de la columna			
tweldc,req		14,175	mm
twc		15	mm
twc > tweldc,req	CUMPLE		
Lweldc,req		380	mm
Lwc		380	mm
Lwc>Lweldc,req	CUMPLE		
Soldadura entre el alma de la viga y la plancha desde el punto más cercano de las alas hasta 6 in. Más arriba/abajo del perno más interno (Denominada zona de tensión)			
Ru		3760,5	N/mm
twin		9,5	mm
Awe		6,72	
kds		1,5	
Fnw		289,2	MPa
Rn		5828	N/mm
ϕ		0,75	
ϕRn		4371,1	N/mm
Verificación	CUMPLE		
Soldadura entre el alma de la viga y la plancha fuera de la zona de tensión			
twout		9,5	mm
Vu		398731,0	N
Rn		676449,9	N
Verificación	CUMPLE		

Figura A.3.12 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4ES, parte 5.

Parte 2	Diseño por el lado de la columna
----------------	---

Paso 2.1	Fluencia por flexión del ala de la columna
-----------------	---

Ala superior de la viga en tensión		
Espesor plancha de continuidad	Distinto al espesor del ala de la viga	
s	117,45	mm
psi	51,8	mm
pso	51,8	mm
Yc	6559,2	mm
tcf,req	23,940	
¿tcf>=tcf,req?	CUMPLE	
Ala inferior de la viga en tensión		
c	116,6	mm
s	117,45	mm
Ycu	5055	mm
tcf,req	27,271	mm
¿tcf>=tcf,req?	CUMPLE	

Paso 2.2	Resistencia a la flexión disponible del ala de la columna para obtener demanda en la plancha de continuidad
-----------------	--

¿Se requiere calcular?	No es necesario	
φ dMcf top flange	2063892587,2	N-mm
φ dMcf bottom flange	1590566393,3	N-mm
φ dMcf	1590566393,3	N-mm
φ dRn	2705044,9	N

Paso 2.3	Fluencia local del alma de la columna
-----------------	--

kc	45,50	mm
Distancia	0	mm
Ct	1	
lb	80,66	mm
φ dRn	2306040	N
Ffu	1987172	N
¿φ dRn>Ffu?	No se requieren planchas de continuidad	

Paso 2.4	Pandeo local "Crippling" en el alma de la columna
-----------------	--

lb/dc	0,212	
φ	0,75	
Rn	3946613,1	N
φ Rn	2959959,81	N
¿φ dRn>Ffu?	No se requieren planchas de continuidad	

Figura A.3.13 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4ES, parte 6.

Paso 2.5	Soldaduras y planchas de continuidad	
Ffu	1987172	N
min Rn	2306040,03	N
Ffsu	-318868	N
tcp,req	7,5	mm
tcp	13	mm
¿tcp>=tcp,req?	CUMPLE	
K	1,0	
L	319,6	mm
Lc	319,6	mm
Agcp	2475,2	mm ²
Pn	853944	N
φ	0,90	
φPn	768550	N
¿φPn>=Ffsu?	CUMPLE	
Soldadura de la plancha de continuidad		
clip	19	mm
lcpw	281,6	mm
lcpf	76,2	mm
Soldadura CJP de acuerdo con AISC Seismic Provisions E3.6f.2c. Leer nota!		
Ru1	683514	N
Ru2	1515571,2	N
Puc	443231,0	N
Py	10314961,8	N
Puc/Py	0,04	
Ru3	1857683,704	N
Ru	683514	N
Soldadura entre el alma de la columna y la plancha de continuidad		
tweldcpw	5	mm
Rn	1151717	N
φRn	863788	N
¿φRn >=Ru?	CUMPLE	
Chequeo de la resistencia a ruptura al corte de la soldadura entre el alma de la columna y las planchas de continuidad		
Rn	2861236,224	N
φ	0,75	
φRn	2145927	N
¿φRn >=Ru?	CUMPLE	
Paso 2.6	Corte en la zona panel	
Vupz	1617897	N
Ru3	1857683,704	N
φ	1,00	
φRn	1857683,704	N
¿φRn >= Vupz?	CUMPLE	
Mínimo espesor de la zona panel		
dz	573	mm
wz	319,6	mm
tcw,req	9,917777778	mm
tcw	18,9	mm
¿tcw>=tcw,req?	CUMPLE	
Puc	443231,0	N
Py	10314961,8	N
Puc/Py	0,042969717	

Figura A.3.14 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4ES, parte 7.

Paso 2.7		Verificación Viga Débil-Columna Fuerte AISC Seismic Provisions	
Puc		443231,0	N
α		1,0	
ΣM_{pc}		3105687955	N-mm
Mv		150691873	N-mm
ΣM_{be}		1244216221	N-mm
Mpc/Mbe		2,50	
$\dot{\alpha} M_{pc}/M_{be} \geq 1$?	CUMPLE		

Figura A.3.15 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión 4ES, parte 8.

Planilla de diseño para ejemplo de conexión de sección de viga reducida.

Propiedades pernos		
Tipo de perno	A490N	
Fnv	469	MPa
Fnt	780	MPa

Propiedades viga W24x76		
Tipo de perfil	Laminado	
d	607,1	mm
tbw	11,2	mm
bbf	228,4	mm
tbf	17,3	mm
Ab	14287,98	mm ²
dz/90	6,35	mm
Zb Catálogo	3277400	mm ³
Zb Calculado	3242041	mm ³
Peso	112,16	kg/m
Tiene atiesadores transversales	No	
Distancia entre atiesadores	0	mm

Verificaciones viga		
$\dot{\alpha} d \leq 920$ mm?		OK
$\dot{\alpha}$ Peso ≤ 447 kg/m?		OK
$\dot{\alpha}$ tbf ≤ 44 mm?		OK

Propiedades columna W14x176		
Tipo de perfil	Laminado	
dc	386	mm
tcw	21,1	mm
bcf	399	mm
tcf	33,3	mm
Ac	33312,7	mm ²
wz/90	3,55	mm
Zc Catálogo	5243900	mm ³
Zc Calculado	5224355	mm ³
kc	1,79	mm
Altura total columna	15,7	m
Altura entre pisos	3,81	m
Altura a la que se realiza la conexión	4,2672	m
kdet	67,00	mm
kdis	49,00	mm
k1	41,00	mm

Luz libre de la viga	9144	mm
	9,144	m

Figura A.3.16 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión de sección de viga reducida, parte 1.

Paso 1. Verificaciones viga y columna

Criterio de sección de la viga altamente dúctil (AISC 341-16)		
Verificación del ala		
R	544,1	mm
bf,RBS	170,45	mm
λ_f	4,93	
λ_{hd}	7,35	
¿Es altamente dúctil?	Sí, el ala de la viga es altamente dúctil	
Verificación del alma de la viga		
Pr	0	N
Ca	0,0000	
λ_{hd}	59,00	
h/tw	51	
¿Es altamente dúctil?	Sí, el alma de la viga es altamente dúctil	

Criterio de sección de la columna altamente dúctil (AISC 341-16)		
Verificación del ala		
b/t	5,99	
Ry	1,1	
λ_{hd}	7,35	0,32 raíz de E/RyFy
¿Es altamente dúctil?	Sí, el ala de la columna es altamente dúctil	
Verificación del alma de la viga		
Pr	1107000	N
Ca	0,0973	
λ_{hd}	53,03	
h/tw	15	
¿Es altamente dúctil?	Sí, el alma de la columna es altamente dúctil	

Verificación de la razón entre luz libre y altura de la viga es mayor o igual a 7		
Lc/d	14,4	
¿Es mayor a 7?	CUMPLE	

Figura A.3.17 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión de sección de viga reducida, parte 2.

Paso 2. Cálculo del módulo plástico en el centro de la sección reducida de la viga, Z_{RBS}

Z_{RBS}	2238461,00	in^3
-----------	------------	---------------

Paso 3. Cálculo del máximo momento probable en el centro de la sección reducida de la viga, M_{pr}

C_{pr}	1,15	
M_{pr}	976304765	N-mm

Paso 4. Cálculo de la fuerza de corte en el centro de RBS, V_{RBS} y V'_{RBS}

Sh	370	mm
Lh	8018	mm
V_{RBS}	320228,3	N
V'_{RBS}	166828,3	N

Paso 5. Cálculo del máximo momento probable en la cara de la columna, M_f y M'_f

M_f	1094789219	N-mm
M'_f	1038031219	N-mm

Paso 6. Cálculo del momento plástico de la viga, M_{pe}

M_{pe}	1243773300	N-mm
----------	------------	------

Paso 7. Verificar la resistencia a la flexión de la viga en la cara de la columna

M_f	1094789219	N-mm
ϕ_d	1	
$\dot{M}_f \leq \phi_d M_{pe}$?	OK	

Paso 8. Determinar la resistencia al corte requerida, V_u , de la viga y la conexión viga columna

V_u	327307,1	N
-------	----------	---

Resistencia de la viga al corte		
h/tw	51,21	
kv	5,34	
Límite	53,93	
Perfil Laminado: $\dot{h}/tw \leq \text{límite}$?	OK	
Perfil soldado: $\dot{h}/tw \leq 1,1 \cdot \sqrt{kvE/F_y}$?	SI	
C_v1	1	
A_w	6786,9308	mm^2
ϕ_v	1	
$\phi_v V_n$	1404894,676	N
$\dot{\phi}_v V_n \geq V_u$?	OK	

Figura A.3.18 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión de sección de viga reducida, parte 3.

Paso 9. Conexión de plancha de corte

dmin	141,43	mm
dpmax	534,52	mm
¿dpmax ≥ dmin?	OK	

Para el montaje es necesario una plancha de corte, esta irá apernada al alma de la viga y además servirá de respaldo para la soldadura de penetración completa entre el alma de la viga y el ala de la columna

φ	0,75	
Ab	285,0	mm ²
rnv	100256,8	N

Resistencia por aplastamiento

Espesor mínimo entre ala y plancha	10,00	mm
Lc	26,99	mm
1,2LctFu	145085	N
2,4dbtFu	204826	N
φ Rn 1 perno	108814	N
φ Rn *nb	761695	N
¿φ Rn ≥ Vu?	OK	

Bloque de corte

Agv	4881	mm ²
Agt	440,00	mm ²
Anv	3436,38	mm ²
Ant	328,88	mm ²
Ubs	1	
0,60FuAnv+UbsFuAnt Izq	1071034	N
0,60FyAgv+UbsFuAnt Der	824792	N
φ Rn	618594	N
¿φ Rn ≥ Vu?	OK	
φ Rn Fluencia por corte	1010367	N
¿φ Rn ≥ Vu?	OK	
φ Rn Ruptura por corte	923698	N
¿φ Rn ≥ Vu?	OK	

Diseño soldadura doble filete entre la plancha de corte el ala de la columna

twsp = wf	8	mm
L	530	mm
Fnw	578,4	MPa
φ	0,75	
φ Rn	1839312	N
¿φ Rn ≥ Vu?	OK	

Figura A.3.19 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión de sección de viga reducida, parte 4.

Paso 11. Verificación relaciones Viga-Columna de AISC 358-16, sección 5.4

ΣM_{pc}^*	3850797297	N-mm
ΣM_{pb}^*	2226822343	N-mm
$\Sigma M_{pc}^* / \Sigma M_{pb}^*$	1,729279082	
$\zeta \Sigma M_{pc}^* / \Sigma M_{pb}^* \geq 1,0?$	OK	
Verificación zona panel		
Vc	551385	N
Ru	3064852	N
0,75Pc	8619671	N
$\zeta Pc \geq Pr?$	SI	
Rn		
ϕ		
ϕRn	2138539	N
$\zeta \phi Rn \geq Ru?$	Cambiar perfil o soldar plancha al alma de la columna	

Tamaño de plancha en el alma de la columna		
tmin	9,90	mm
tcw	21,1	mm
$\zeta tcw \geq tmin?$	OK	
tminpz	11,593	mm
tdweb	13	mm
$\zeta tdweb \geq tminpz?$	OK	
Resistencia de la plancha en el alma de la columna a la fluencia por corte		
ϕv	1	
$\phi v Rn$	859505	N
Longitud de contacto	268,6	mm

Figura A.3.20 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión de sección de viga reducida, parte 5.

Paso 10. Verificación planchas de continuidad

d*	589,8	mm
Pf	1856236	N
Fluencia local del ala		
ϕ	0,9	
ϕRn	2151940	N
$\phi \phi Rn \geq Pf?$	OK	
Fluencia local del alma		
ϕ	1	
k	49,00	mm
lb	17,27	mm
ϕRn	1909194	N
$\phi \phi Rn \geq Pf?$	OK	
Crippling local en el alma		
ϕ	0,75	
Qf	1	
Rn	3968343	N
ϕRn	2976258	N
$\phi \phi Rn \geq Pf?$	OK	
tlim	38,06	mm
$\phi tcf \geq tlim?$	NO CUMPLE	

Diseño soldadura planchas de continuidad		
ϕ	0,9	
Área de contacto	3660,8	mm ²
ϕTn	1136678	N
ϕ	1	
Longitud de contacto	173,35	mm
Área de contacto	2773,60	mm ²
ϕVn	574135	N
Resistencia de la columna al corte		
h/tw	15,14	
kv	7,132462854	
Límite	53,93	
Perfil Laminado: $\phi h/tw \leq$ límite?	OK	
Perfil soldado: $\phi h/tw \leq 1,1 \cdot \sqrt{kvE/Fy}$? SI		
Cv1	1	
Aw	8144,60	mm ²
ϕv	1	
ϕvVn	1685932,2	N
$\phi \phi vVn \geq Vu?$	OK	

Resistencia requerida	574135	N
D	6,64	in/16
	10,545	mm
t	11,000	mm
$\phi t \geq treq?$	OK	

Figura A.3.21 Planilla de cálculo del ejemplo de conexión de sección de viga reducida, parte 6.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – FACULTAD DE INGENIERÍA
RESUMEN DE MEMORIA DE TÍTULO

Departamento : Departamento de Ingeniería Civil
Carrera : Ingeniería Civil
Nombre del memorista : Felipe Pavez Sepúlveda
Título de la memoria : Diseño de conexiones de momento de uso poco común en Chile mediante IdeaStatica.
Fecha de la presentación oral :
Profesor(es) Guía : Rodrigo Silva Muñoz
Profesor(es) Revisor(es) : Victor Aguilar Vidal
Concepto :
Calificación :

Resumen:

Las conexiones de plancha extrema y sección de viga reducida no son de uso común en la práctica nacional, principalmente porque no son consideradas como suficientemente rígidas, dando pie a que se escojan otro tipo de configuraciones para resolver las conexiones de momento de una estructura.

Conforme ha avanzado el tiempo, se han realizado estudios que han actualizado el conocimiento sobre las conexiones de plancha extrema, permitiendo así desarrollo de guías de diseño recientes que compilan y establecen procedimientos estandarizados para la implementación de dichas conexiones. Además, con el avance tecnológico han surgido herramientas que permiten una mayor facilidad de diseño en un menor tiempo, surgiendo así, una necesidad de comparar los resultados entregados por las guías de diseño con el *software* disponible en el mercado.

Finalmente, IdeaStatica se posiciona como un programa conservador tras comparar los resultados obtenidos con el procedimiento teórico, destacando su sencillez de uso y la agilidad que suma a los procesos de diseño.