

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**Profesor Patrocinante:** Oscar Gutiérrez Astete.

**APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CÁLCULO, CONVENCIONAL  
Y CBFEM MEDIANTE SOFTWARE IDEA STATICA  
CONNECTION PARA EL DISEÑO DE UNIONES  
ESTRUCTURALES DE ACERO.**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para optar al título de Ingeniera Civil

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**Fernanda Belén Pardon Lepicheo**

CONCEPCIÓN, MARZO DEL 2020

## AGRADECIMIENTO

*En primer lugar, a Dios por hacer que esté viviendo este momento. A mis padres, personas que en cada instante han estado junto a mí, levantándose en los momentos difíciles y abrazándose en los momentos de éxito. A mi pareja Guillermo, por su amor, compañía y por ser la persona que creyó desde el primer momento en mí, indicándome este camino que pensé que no podría lograr. A familiares, amigos y a todas las personas que me ayudaron a conseguir este objetivo, tía Viviana, Abuela Zuni, primo Mati y mi Pablo, son muchos más, pero a todos infinitas gracias.*

*Agradezco a demás a todas las personas que fueron parte de mi vida escolar y universitaria desde el Liceo María Auxiliadora en mi querido Punta Arenas, hasta la gloriosa UBB, a todos solo les puedo decir gracias, ya que de alguna u otra forma contribuyeron con mi desarrollo académico y personal.*

## **APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CÁLCULO, CONVENCIONAL Y CBFEM MEDIANTE SOFTWARE IDEA STATICA CONNECTION PARA EL DISEÑO DE UNIONES ESTRUCTURALES DE ACERO.**

Autora: Fernanda Pardon Lepicheo

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Del Bío-Bío

[fernanda.pardon1401@egresados.ubiobio.cl](mailto:fernanda.pardon1401@egresados.ubiobio.cl)

Profesor Patrocinante: Oscar Gutiérrez Astete

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Del Bío-Bío

[oga.movil@gmail.com](mailto:oga.movil@gmail.com)

### **RESUMEN**

Este trabajo presenta una visión general del actual estado de los conocimientos sobre las conexiones apernadas de viga a columna o empalme, empleadas para estructuras de acero enmarcadas resistentes a momento y corte. Las conexiones de las estructuras de acero son uno de los factores determinantes de la economía en el trabajo de acero estructural. Además, la evaluación manual de la conexión apernada es una tarea difícil, la selección de conexiones a menudo se basa en la simplicidad, la replicación y la facilidad de montaje, que se puede hacer con trabajadores relativamente poco calificados y con herramientas básicas. Desde este punto de vista, el diseñador debe evitar configuraciones complicadas de uniones con fabricación costosa y diseño laborioso. Este trabajo destaca las nuevas tendencias en el campo de las conexiones apernadas de viga a columna de acero, como es el caso del software Idea Statica, el cual entregará mediante la metodología de elementos finitos CBFEM que tiene implementada, una solución a la unión, diseñado y comprobando todas las conexiones y articulaciones de las estructuras de acero, permitiendo así disminuir costo de material y ahorro de tiempo al ingeniero.

Palabras Claves: Conexión de acero, unión de viga a columna, empalme.

Nº de palabras: 9144 palabras totales (sin contar anexos).

# **APLICACIÓN DE MÉTODOS DE CÁLCULO, CONVENCIONAL Y CBFEM MEDIANTE SOFTWARE IDEA STATICA CONNECTION PARA EL DISEÑO DE UNIONES ESTRUCTURALES DE ACERO.**

Autora: Fernanda Pardon Lepicheo

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad Del Bío-Bío

[fernanda.pardon1401@egresados.ubiobio.cl](mailto:fernanda.pardon1401@egresados.ubiobio.cl)

Profesor Patrocinante: Oscar Gutiérrez Astete

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad Del Bío-Bío

[oga.movil@gmail.cl](mailto:oga.movil@gmail.cl)

## **ABSTRACT**

This paper presents an overview of the current state of knowledge about bolted connections of beam to column or splice, used for framed steel structures resistant to moment and cut. The connection of steel structures are one of the determining factors of the economy in the work of structural steel. In addition, manual evaluation on the bolted connection is a difficult task. Connection selection is often based on simplicity, replication, and ease of assembly, which can be done with relatively unskilled workers and basic tools. From this point of view, the designer must avoid the complicated joint configuration with expensive manufacturing and laborious design. This work highlights the new trends in the field of bolted connections from beam to steel column such as the Idea Statica software, which will deliver through the CBFEM finite element methodology that has been implemented, a solution to the union, designed and checking all connections and joints of steel structures, thus reducing the cost of material and saving the engineer time.

Keywords: Steel connections, beam to column joint, splice.

## INDICE

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción.....                                    | 4  |
| 1.1 Antecedentes Generales.....                         | 5  |
| 1.2 Antecedentes Específicos .....                      | 6  |
| 1.3 Objetivos.....                                      | 8  |
| Objetivo General .....                                  | 8  |
| Objetivos Específicos .....                             | 8  |
| 2. Metodología.....                                     | 9  |
| 2.1.1 Conexión de momento End-Plate .....               | 9  |
| 2.1.2 Conexión a Corte .....                            | 10 |
| 2.1.3 Empalmes .....                                    | 10 |
| 2.2 Método CBFEM .....                                  | 11 |
| 3. Resultados y Análisis de Datos .....                 | 20 |
| 3.1 Conexión a momento End-Plate 8ES .....              | 20 |
| 3.2 Conexión a corte.....                               | 28 |
| 3.3 Conexión de Empalme .....                           | 32 |
| 3.3.1 Resistencia de tracción (AISC 360-10, J3-1) ..... | 33 |
| 3.3.2 Resistencia al corte (AISC 360-10, J3-1) .....    | 33 |
| 4. Conclusiones.....                                    | 37 |
| Bibliografía.....                                       | 40 |
| Anexos .....                                            | 41 |

## INTRODUCCIÓN

La construcción en estructuras metálicas debe entenderse como prefabricada por excelencia, lo que significa que los diferentes elementos que componen una estructura deben ensamblarse o unirse de alguna manera que garantice el comportamiento de la estructura según fuera diseñada. El proyecto y detalle de las conexiones puede incidir en forma significativa en el costo final de la estructura. La selección del tipo de conexiones debe tomar en consideración el comportamiento de la conexión (rígida, flexible, por contacto, por fricción, etc.), las limitaciones constructivas, la facilidad de fabricación (accesibilidad de soldadura, uso de equipos automáticos, repetición de elementos posibles de estandarizar, etc.) y aspectos de montaje (accesibilidad para apernar o soldar en terreno, equipos de levante, soportes provisionales y hasta aspectos relacionados con clima en el lugar de montaje, tiempo disponible, etc.).

Hoy en día estas variables se analizan en forma conjunta e integral, bajo el concepto de constructividad, materia en la que el acero muestra grandes ventajas.

Las conexiones son como el adhesivo que mantiene las partes de la estructura unidas y permite que absorban las cargas a las que están sometidas. Son entonces, un aspecto crítico en el comportamiento de la estructura. Se ha demostrado que, históricamente, la mayor recurrencia de fallas estructurales mayores en las estructuras de acero se debe a fallas en los sistemas de conexiones. La historia muestra que el hombre ha buscado incesantemente perfeccionar no sólo las construcciones, sino paralelamente perfeccionar los elementos de conexión adecuados para ellas.

Durante muchos años el método aceptado para conectar los miembros de una estructura de acero fue el remachado. Sin embargo, en años recientes el uso de los remaches ha declinado rápidamente al gran auge experimentado por la soldadura, y más recientemente, por el uso de pernos de alta resistencia.

El frecuente uso de la mayoría de este tipo de conexiones en el campo de la Ingeniería Civil, conlleva a la necesidad de tener herramientas rápidas y eficaces, para el cálculo de este tipo de elementos. Tradicionalmente, los ingenieros estructurales han diseñado uniones metálicas que siguen los requerimientos básicos de normas de edificación basadas en pruebas empíricas de laboratorio y la verificación computacional del modelo. No obstante, proyectos más complejos conllevan situaciones en que el diseño de conexiones debe validarse utilizando el criterio ingenieril

e incluso llevando a cabo un análisis más exhaustivo. Esto puede consumir una gran cantidad de tiempo, reduciendo notoriamente la rentabilidad del proyecto. Por lo tanto, es necesario orientar el estudio específicamente al comportamiento de cada unión cumpliendo con parámetros de seguridad y de optimización en los diseños, para evitar posibles fallas estructurales. Es por lo ya expuesto anteriormente que en este trabajo se pretende introducir un nuevo método de análisis para el diseño de conexiones utilizando el modelo de elementos finitos basado en componentes (CBFEM) a través de la innovadora herramienta de cálculo IDEA Statica Connection que permite entregar a ingenieros estructurales una nueva herramienta efectiva para todo tipo de uniones en estructuras de acero.

## **1.1 ANTECEDENTES GENERALES**

La aparición de las estructuras metálicas a fines del siglo XIX muestra un rápido y eficiente desarrollo de las conexiones remachadas, lo que permite su fabricación en serie. A pesar de haber sido inventada en 1881, la soldadura al arco recién se consolida como elemento de conexión a mediados del siglo XX, lo que da más libertad arquitectónica. Las uniones que se obtienen utilizando pernos de alta resistencia son superiores a las remachadas en rendimiento y economía y son uno de los principales métodos para conectar elementos estructurales de acero.

C. Batho y E.H. Baterman sostuvieron por primera vez en 1934 que los pernos de alta resistencia podrían emplearse satisfactoriamente para el ensamble de estructuras en acero, pero fue hasta en 1947 que se estableció el Research Council on Riveted and Bolted Structural Joints of the Engineering (Consejo para la investigación de uniones estructurales remachadas y apernadas). Este grupo publicó sus primeras especificaciones en 1951 y los pernos de alta resistencia fueron aceptados rápidamente por arquitectos e ingenieros de puentes y estructuras sometidas a cargas, tanto estáticas como dinámicas. Estos pernos no solo se convirtieron en el principal tipo de conector de campo, sino que se encontró que poseían muchas aplicaciones en conexiones de fábrica. En la construcción del puente Mackinac en Michigan se utilizaron más de un millón de pernos de alta resistencia. La primera edición editada por el consejo en 1951 permite reemplazar cada remache por un perno de alta resistencia de igual diámetro, y será la edición de 1960 la que en definitiva reconozca la mayor capacidad del perno de alta resistencia con respecto al remache. Este importante avance, sumado al conocimiento logrado en su comportamiento frente a las más

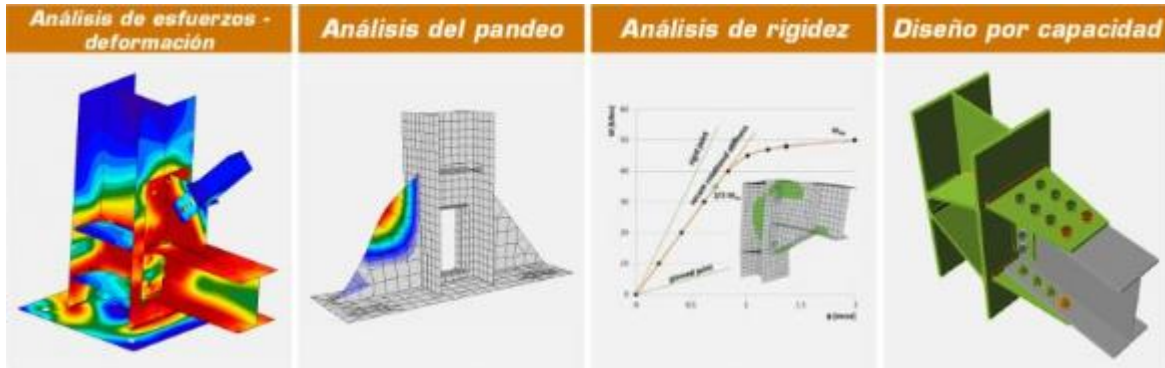
variadas situaciones y el reconocimiento de métodos de montaje simples, permiten hoy confiar en que una conexión materializada con pernos de alta resistencia es económica, rápida y segura. (McCormac, 1991).

## **1.2 ANTECEDENTES ESPECÍFICOS**

La norma muchas veces no avala de forma explícita los diseños de la unión y es necesario verificar su comportamiento mediante modelos de análisis más avanzados que probablemente no han sido considerados en el tiempo destinado al proyecto. En estos casos es una práctica común realizar ciertas aproximaciones y estimaciones basadas en el criterio y vasta experiencia de los ingenieros. El problema asociado a estas prácticas es que los diseños de conexiones no están siendo validados y son muchas veces sobredimensionados para cumplir con los requerimientos de seguridad ante posibles casos de falla. Esto último agrega un costo adicional importante al proyecto provocando que el acero pierda competitividad frente a otros materiales de construcción. Es por esto que se opta por la utilización de la innovadora herramienta computacional de cálculo IDEA Statica Connection.

La herramienta de cálculo IDEA Statica Connection tiene la solución y puede asegurar, entre otros:

- Diseño de diferentes tipologías de conexiones personalizadas.
- Cualquier reacción de carga sobre la conexión y en todas las direcciones (6 GL).
- Cualquier tipo de perfiles soldados, compuestos y conformados en frío.
- Visualización del modelo de EF de conexiones en acero.
- Generación automáticamente los resultados del MEF.
- Cálculo de tensiones y deformaciones de los componentes, basado en el comportamiento no lineal del acero.
- Verificación normativa según los códigos AISC y EN.
- Visualización de diagramas de esfuerzos y deformaciones de la conexión.
- Cálculo de pandeo local, análisis de rigidez del nudo, capacidad de rotación y carga axial.
- Reportes de resultados completos y claros.



**Figura 1: Tipo de análisis para conexiones metálicas.**  
**Fuente: Software Idea Statica Connection**

Pernos, soldaduras, placas de terminación, placas base, rigidizadores, nervios, placas de corte, conexiones viga a columna, ala a alma de la viga, placas de refuerzo, gusset, y otros. Estas son sólo algunas tipologías de conexiones en acero, entre muchos tipos de elementos de conexión distintos que se pueden crear con este método. Además de lo anterior, se tienen también diferentes combinaciones de elementos en una misma conexión y en distintos planos logrando verificar la real interacción en el nudo. (<https://www.construccionenacero.com/>)

Lo que hace muy especial a este programa es que a diferencia de los programas estructurales clásicos este tiene implementada una metodología de elementos finitos que viene de la industria aeroespacial, es donde, lo que se intenta hacer es mallados no tan finos y cada placa se malla por separado, permitiendo obtener resultados muy exactos y con una velocidad de cálculo muy elevada haciendo que este programa sea práctico.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Comparar métodos de cálculo, convencional y CBFEM mediante software Idea Statica Connection para el diseño de uniones de acero, ocupadas frecuentemente en proyectos de ingeniería estructural.

### **Objetivos específicos**

- Analizar cómo funcionan y en que se basan los métodos de cálculo convencional y CBFEM.
- Diseñar unión tipo End-Plate, a corte y empalme mediante la forma convencional y CBFEM.
- Comparar resultados de capacidad de la unión, obtenidos en ambos procedimientos.

## **2 METODOLOGÍA.**

### **2.1 Método tradicional**

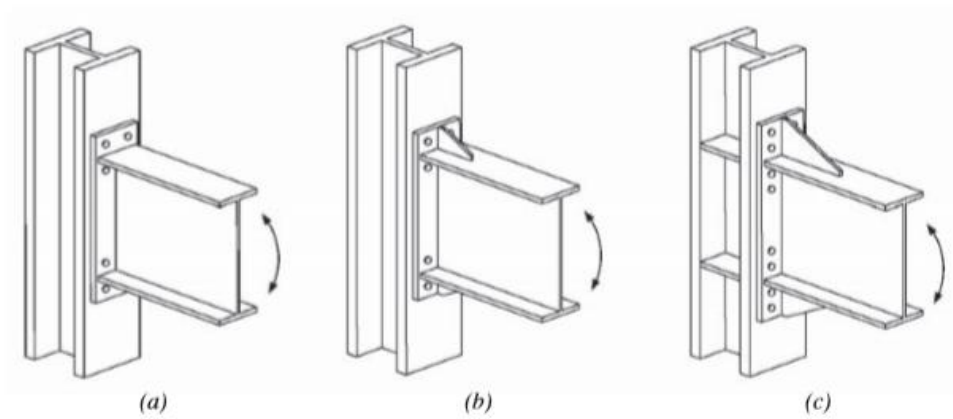
Método que se basa en el diseño de conexiones a partir de ensayos empíricos y luego precalificados, cuyos resultados son presentados a través de ecuaciones las cuales se encuentran en normativas (NCh 427 y Códigos de diseño AISC (360,358 y 341) ordenadas en un procedimiento de diseño que permite conocer los estados límites de las diferentes uniones para así garantizar un diseño seguro. Este método permite al ingeniero conocer de manera particular la verificación que se realiza a cada conexión, otorgando el conocimiento preciso para luego diseñar con criterio y seguridad.

En el análisis de la conexión a momento End-Plate lo referente al detalle, limitaciones paramétricas y de elementos, y procedimiento de diseño se encuentra en el código AISC 358-10 y en Guía de Diseño n°4 de 2004 perteneciente al AISC.

Para el caso de la conexión a corte y empalme los estados límites aplicados en el procedimiento de diseño se encuentran en el código AISC 360-10 y en la NCh 427-16.

#### **2.1.1 Conexión de momento End-Plate**

Esta conexión consiste en unir un perfil metálico utilizado como viga por medio de soldadura a una lámina rectangular conocida como placa extrema o final. Esta lámina cuenta con un arreglo de perforaciones las cuales se conectan de manera idéntica sobre el ala de la columna con el objetivo de instalar pernos pretensionados de alta resistencia. El arreglo y número de pernos depende de la fuerza en tensión desarrollado por el par flector transmitido por la viga. (<https://www.goratools.com/> Ingeniero Cristhian Ramírez, 12 enero 2017)



**Figura 2. Conexiones empotradas End-Plate: (a) cuatro pernos sin refuerzo, 4E; (b) cuatro pernos con rigidizador, 4ES; (c) ocho pernos con rigidizador, 8ES.**

**Fuente: (ANSI/AISC 358-10)**

### 2.1.2 Conexión a Corte

#### Conexión de Corte de Placa Simple: Configuración convencional

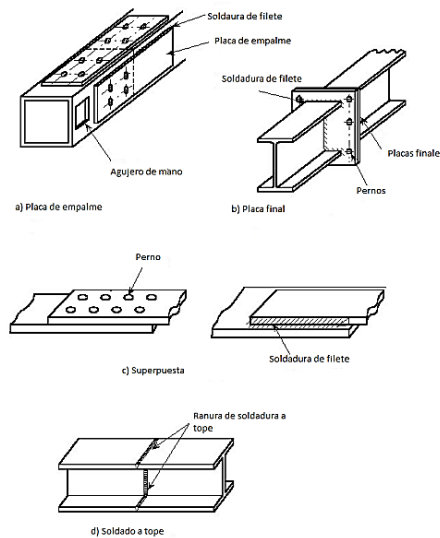
Se pueden materializar conectando sólo al alma del miembro soportado, dejando las alas no conectadas. Las conexiones de asiento son las únicas que conectan a las alas del miembro soportado. Los ángulos de las conexiones de corte se pueden conectar indistintamente por soldadura o apernados. Las conexiones con ángulos simples tienden a tener menor capacidad de carga que las conexiones con doble ángulo. Aunque las conexiones con planchas de corte son más económicas, su aplicación debe ser evaluada cuidadosamente. (<http://www.arquitecturaenacero.org/>)

### 2.1.3 Empalmes

Una conexión empalmada es una unión hecha dentro de la longitud de un puntal, una viga o cualquier otro miembro estructural. Su objetivo es transferir las fuerzas internas de una parte estructural a la adyacente sin ser un punto débil de la estructura en relación con la resistencia, la rigidez y la ductilidad. Esta transferencia se realiza normalmente a través de diferentes tipos de elementos de placa de transición que se sujetan adecuadamente a las partes miembro.

Hay muchas formas de hacer empalmes. Por ejemplo, las placas de cubierta tradicionales pueden usarse para la transferencia de carga completa o solo para la continuidad; Se pueden elegir soldaduras o pernos como sujetadores.

La mayoría de los empalmes transfieren cargas de un miembro estructural a la parte adyacente de un miembro estructural similar a través de placas de cubierta o placas finales. Las placas de cubierta pueden ser simples, con pernos en corte simple, o dobles con pernos en corte doble (Figura 1a).



**Figura 3. Tipos de arreglos de empalmes.**  
Fuente: Revista de Ingeniería

## 2.2 Método CBFEM

IDEA Statica junto con un equipo de proyecto del Departamento de Estructuras de Acero y Madera de Facultad de Ingeniería Civil en Praga e Instituto de Estructuras de Metal y Madera de La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Brno desarrolló un nuevo método para Diseño avanzado de juntas estructurales de acero.

El nuevo método del Modelo de elementos finitos basados en componentes (CBFEM) es:

- Suficientemente general para ser utilizable en la mayoría de las juntas, zapatas y detalles en ingeniería práctica.
- Lo suficientemente simple y rápido en la práctica diaria para proporcionar resultados en un tiempo comparable a métodos y herramientas actuales.
- Lo suficientemente completo como para proporcionar al ingeniero estructural información clara sobre el comportamiento, estrés, tensión y reservas de componentes individuales de la junta y en general Seguridad y fiabilidad.

El método CBFEM se basa en la idea de que la mayoría de las partes verificadas y muy útiles de CM (Método de los Componentes) debe mantenerse. El punto débil de CM es su generalidad al analizar tensiones de componentes individuales - fue reemplazado por modelado y análisis usando elementos finitos Método (FEM).

### **Componentes CBFEM**

FEM es un método general comúnmente utilizado para el análisis estructural. El uso de FEM para modelar juntas de cualquier forma parece ser ideal (Virdi, 1999). El análisis elástico-plástico es requerido, ya que el acero normalmente cede en la estructura. De hecho, los resultados del análisis lineal son inútiles para el diseño de juntas.

Los modelos FEM se utilizan con fines de investigación del comportamiento conjunto, que generalmente se aplican en elementos y valores medidos de las propiedades del material.

Tanto el alma como las alas de los miembros conectados se modelan utilizando elementos de carcasa (Elementos Shell) en el Modelo CBFEM para el cual está disponible la solución conocida y verificada.

Los sujetadores (pernos y soldaduras) son los más difíciles desde el punto de vista del análisis del modelo. El modelado de tales elementos en los programas generales de FEM es difícil porque los programas no ofrecen las propiedades requeridas. Por lo tanto, los componentes especiales de FEM deben ser desarrollados para modelar el comportamiento de soldaduras y tornillos en una junta.

Las juntas de los miembros se modelan como puntos sin masa al analizar el marco de acero o la viga estructura. Las ecuaciones de equilibrio se ensamblan en uniones y se determinan fuerzas internas en los extremos de las vigas después de resolver toda la estructura. De hecho, la articulación es cargada por aquellas fuerzas. La fuerza resultante de todos los miembros en la articulación es cero, toda la articulación está en equilibrio.

La forma real de una conexión no se conoce en el modelo estructural. El ingeniero solo define si se supone que la articulación es rígida o articulada.

Es necesario crear el modelo confiable de articulación, que respete el estado real, para que se diseñe la articulación adecuadamente. Los extremos de los miembros con una longitud de 2 a 3 veces la altura máxima de la sección transversal se utilizan en el método CBFEM. Estos segmentos se modelan usando elementos de carcasa.

**IDEA Statica Connection puede realizar dos tipos de análisis:**

1. Análisis geométrico lineal con material y no linealidades de contacto para tensión y análisis de tensión.
2. Análisis de valor propio para determinar la posibilidad de pandeo.

En el caso de las conexiones, el análisis geométrico no lineal no es necesario a menos que las placas sean muy delgadas. La delgadez de la placa se puede determinar mediante análisis de valor propio (pandeo). Para conocer la esbeltez del límite donde el análisis geométrico lineal sigue siendo suficiente, vea Capítulo 3.9 (IDEA Connection Theoretical background). El análisis geométrico no lineal no está implementado en el software.

**Comprobación de componentes según AISC**

El método CBFEM combina las ventajas del método general de elementos finitos y el estándar Método de componentes. Las tensiones y fuerzas internas calculadas en el CBFEM se utilizan en las verificaciones de todos los componentes. Los componentes individuales se verifican de acuerdo con el American Institute of Steel Construction (AISC) 360-16.

**Placas**

El esfuerzo equivalente resultante (HMH, Von Mises) y la deformación plástica se calculan en placas. Cuando el límite elástico se alcanza (en LRFD multiplicado por el factor de resistencia del material  $\phi = 0.9$ , en ASD dividido por el factor de seguridad del material  $\Omega = 1.67$ , que son editables en la configuración del Código) en el diagrama de material bilineal, se realiza la comprobación de la deformación plástica equivalente. El valor límite del 5% se sugiere en Eurocode (EN1993-1-5 App. C, Par. C8, Nota 1). Este valor se puede modificar en la configuración del Código, pero se realizaron estudios de verificación para este valor recomendado.

La placa se divide en 5 capas y se investiga el comportamiento elástico / plástico en cada una de las capas. El programa muestra el peor resultado de todos ellos.

Datos de diseño

|   | Grade | Fy<br>[ksi] | $\epsilon, \text{lim}$<br>[%] |
|---|-------|-------------|-------------------------------|
| > | A36   | 36.0        | 5.0                           |

El método CBFEM puede proporcionar un esfuerzo un poco más alto que el límite elástico. La razón es la ligera inclinación del tramo plástico del diagrama tensión-deformación, que se utiliza en el análisis para mejorar la estabilidad del cálculo de la interacción. Esto no es un problema para el diseño práctico. La deformación plástica equivalente se excede a un esfuerzo mayor y la unión hace no satisfacer de todos modos.

**Soldadura****Soldadera de filete**

La resistencia del diseño,  $\phi R_n$  y la fuerza permitida,  $R_n / \Omega$ , de juntas soldadas son evaluadas en la verificación de soldadura de la conexión.

$\Phi = 0.75$  (Diseño de factor de carga y resistencia, LRFD, editable en configuración de código)

$\Omega = 2.00$  (Diseño de fuerza admisible, ASD, editable en la configuración del Código)

La resistencia disponible de las juntas soldadas se evalúa de acuerdo con AISC 360-16 - J2.4

$$R_n = F_{nw} A_{we}$$

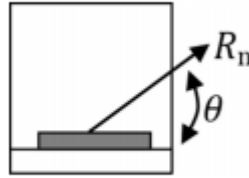
$$F_{nw} = 0.6 F_{EXX} (1.0 + 0.5 \sin^{1.5} \theta)$$

$F_{nw}$ - tensión nominal del material de soldadura

$A_{we}$ - área efectiva de la soldadura

$F_{EXX}$ - número de clasificación del electrodo, i.e., resistencia a la tracción mínima especificada.

$\Theta$  - ángulo de carga medido desde el eje longitudinal de soldadura, en grados.



Para soldaduras de filete con carga final con una longitud de hasta 100 veces el tamaño de la soldadura, se permite tomar la longitud efectiva igual a la longitud real. Cuando la longitud de la soldadura de filete cargada al final excede 100 veces el tamaño de la soldadura, la longitud efectiva se determinará multiplicando la longitud real por el factor de reducción,  $\beta$ , determinado de la siguiente manera:

$$\beta = 1.2 - 0.002 (l / w)$$

$l$  = Longitud de la soldadura

$w$  = Tamaño de la pierna de soldadura

Cuando la longitud de la soldadura excede 300 veces el tamaño de la pierna,  $w$ , se toma la longitud efectiva como  $180 w$ .

La resistencia del metal base se evalúa si la opción está seleccionada en Configuración del código

$$R_n = F_{nBM} A_{BM} - \text{AISC 360-16 - J2.4 (J2-2)}$$

Donde:

$F_{nBM}$  =  $0.6 F_u$  - resistencia nominal del metal base. AISC 360-16 - J4.2 (J4-4)

$A_{BM}$  =  $A_{we} \sqrt{2}$  - área de la sección transversal del metal base

$F_u$  = Resistencia a la tracción mínima

Todos los valores requeridos para la verificación se obtienen en tablas.

### **Soldaduras de ranura CJP (Penetración completa)**

La tabla de especificaciones AISC J2.5 identifica cuatro condiciones de carga que pueden estar asociadas con soldaduras de ranura y muestra que la resistencia de la unión está controlada por el metal base o que las cargas no necesitan ser consideradas en el diseño de las soldaduras que

conectan las partes. En consecuencia, cuando se realizan soldaduras de ranura de penetración de unión completa (CJP) con metal de relleno de resistencia coincidente, la fuerza de una conexión está gobernada o controlada por el, se requiere metal base y no se verifica la resistencia de la soldadura.

## **Pernos**

### Resistencia a la tracción y al corte de los pernos

La resistencia de diseño a la tracción o al corte,  $\phi R_n$ , y la resistencia a la tracción o al corte admisible,  $R_n / \Omega$  de un perno apretado ajustado se determina de acuerdo con los estados límite de ruptura de tensión y ruptura de corte de la siguiente manera:

$$R_n = F_n A_b$$

$\Phi = 0.75$  (LRFD, editable en configuración de código)

$\Omega = 2.00$  (ASD, editable en configuración de código)

Donde:

$A_b$ - Área nominal del cuerpo sin rosca del perno o parte roscada

$F_n$ - Esfuerzo de tensión nominal,  $F_{nt}$ , o esfuerzo de corte,  $F_{nv}$ , de la Tabla J3.2

La resistencia a la tracción requerida incluye cualquier esfuerzo resultante de la acción de palanca producida por la deformación de las partes conectadas.

### Tensión y corte combinados en conexión de tipo rodamiento

La resistencia a la tracción disponible de un perno sometido a tensión y corte combinados se determina de acuerdo con los estados límite de tensión y rotura de corte de la siguiente manera:

$$R_n = F'_{nt} A_b$$

$\Phi = 0.75$  (LRFD, editable en configuración de código)

$\Omega = 2.00$  (ASD, editable en configuración de código)

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{f_{rv}F_{nt}}{\phi F_{nv}}$$

$$F'_{nt} = 1.3F_{nt} - \frac{f_{rv}\Omega F_{nt}}{F_{nv}}$$

Donde:

$F'_{nt}$ - Esfuerzo de tensión nominal modificada para incluir los efectos del esfuerzo de corte

$F_{nt}$ - Esfuerzo de tensión nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$F_{nv}$ - Esfuerzo cortante nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2

$F_{rv}$ - Esfuerzo de corte requerido usando combinaciones de carga LRFD o ASD. El esfuerzo cortante disponible del sujetador debe ser igual o superior al esfuerzo cortante requerido,  $F_{rv}$

#### Resistencia del rodamiento en agujeros de perno

Las fuerzas de rodamiento disponibles  $\phi R_n$  y  $R_n/\Omega$ , en los agujeros de los pernos se determinan para el estado límite de rodamiento de la siguiente manera:

$\Phi = 0.75$  (LRFD, editable en configuración de código)

$\Omega = 2.00$  (ASD, editable en configuración de código)

La resistencia nominal del rodamiento del material conectado,  $R_n$ , se determina de la siguiente manera:

Para un perno en una conexión con agujeros estándar:

$$R_n = 1.2 l_c t F_u \leq 2.4 d t F_u$$

Para un perno en una conexión con agujeros ranurados:

$$R_n = 1.0 l_c t F_u \leq 2.0 d t F_u$$

Donde:

$F_u$ = resistencia a la tracción mínima especificada del material conectado

$d$ = diámetro nominal del perno

$l_c$  = distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del orificio adyacente o borde del material

$t$  = espesor del material conectado

### Pernos pretensionados

La resistencia al deslizamiento de diseño del perno pretensionado clase A325 o A490, perno con el efecto de fuerza de tracción  $F_t$

Fuerza de precarga que se utilizará está en la pestaña AISC 360-10. J3.1.

$$T_b = 0.7 f_{ub} A_s$$

Resistencia de diseño al deslizamiento por tornillo AISC 360-10 par. J3.8

$$R_n = k_{SC} \mu D_u h_f T_b n_s$$

Utilidad en corte [%]:

$$U_{ts} = V / \phi R_n \quad (\text{LRFD})$$

$$U_{ts} = \Omega V / R_n \quad (\text{ASD})$$

Donde:

$A_s$  = área de esfuerzo de tensión del perno.

$F_{ub}$  = resistencia a la tracción última.

$$k_{SC} = 1 - \frac{F_t}{D_u T_b n_b}, \text{ factor para tensión y corte combinados (LRFD) (J3-5a)}$$

$$k_{SC} = 1 - \frac{1.5 F_t}{D_u T_b n_b}, \text{ factor para tensión y corte combinados (ASD) (J3-5b)}$$

$\mu$  = coeficiente de factor de deslizamiento medio editable en la configuración del Código

$D_u = 1.13$  - multiplicador que refleja la relación de la pretensión media del perno instalado a la pretensión mínima especificada del perno

$h_f = 1.0$  - factor para rellenos

$n_s$  = número de las superficies de fricción; La comprobación se calcula para cada superficie de fricción por separado.

$V$  = fuerza de corte que actúa sobre el perno.

$\Phi = 1.0$  - factor de resistencia para agujeros de tamaño estándar (LRFD) editable en la configuración del Código

$\Phi = 0.7$  - factor de resistencia para agujeros ranurados (LRFD)

$\Omega = 1.5$  - factor de resistencia para agujeros de tamaño estándar (ASD) editable en la configuración del Código

$\Omega = 2.14$  - factor de resistencia para agujeros ranurados (ASD)

### Diseño de capacidad de miembros

El diseño de la capacidad del miembro se realiza de acuerdo con AISC 341-10

$$M_{pe} = 1.1 R_y F_y Z_x$$

Donde:

$M_{pe}$  = Momento esperado en la rótula de plástico

$R_y$  = Relación entre el límite de fluencia esperado y el de fluencia mínimo especificado (Tabla A3.1)

$F_y$  = Límite elástico

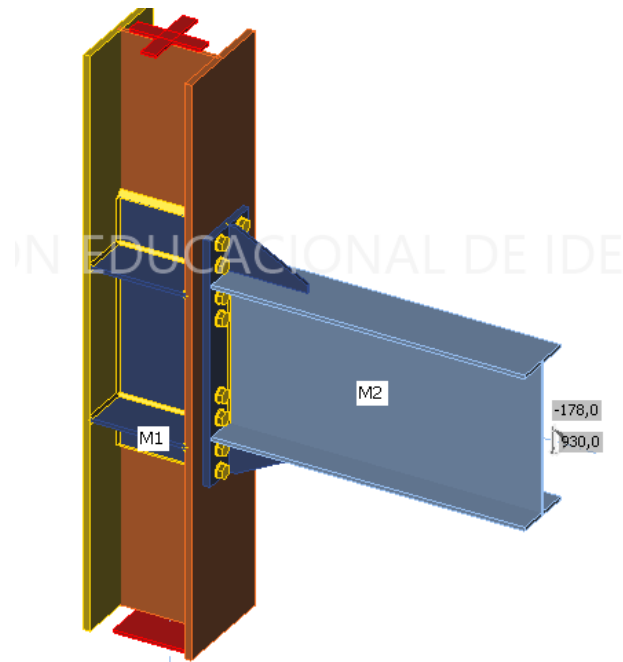
$Z_x$  = Módulo de la sección plástica

Cabe señalar que para el método CBFEM las conexiones End-Plate, a corte y empalme se basan en la normativa AISC 360-16 para realizar su verificación.

### 3 RESULTADOS Y ANALISIS DE DATOS

A continuación, se presentarán los datos obtenidos mediante los métodos de cálculo Convencional y CBFEM sobre las conexiones mencionadas en el presente trabajo.

#### 3.1 Conexión a momento End-Plate 8ES



**Figura 4. Conexión End-Plate 8ES en Idea Statica Connection**  
Fuente: Elaboración propia

#### Secciones Utilizadas

| Nombre               | Material    |
|----------------------|-------------|
| 1. Columna (W14x109) | A992        |
| 2. Viga (W21x55)     | A992(ES_HR) |

#### Tornillos

| Nombre | Conjunto de tornillo | Diámetro (mm) | Fu (MPa) |
|--------|----------------------|---------------|----------|
| 1 A325 | 1 A325               | 25            | 825.0    |

**Cargas**

| Nombre | Elemento  | N (kN) | Vy (kN) | Vz (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | Mz (kNm) |
|--------|-----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE1    | M2 (Viga) | 0      | 0       | -178    | 0        | 930      | 0        |

**Datos de diseño**

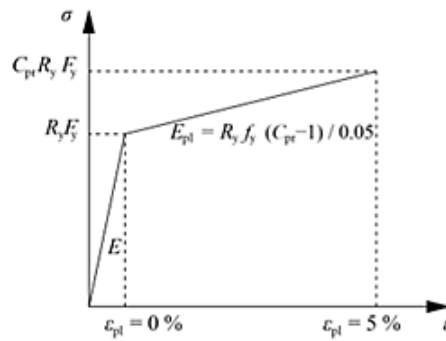
| Material     | Ry (-) | Fy (MPa) | Cpr (-) | $\xi_{lim}$ (%) |
|--------------|--------|----------|---------|-----------------|
| A992         | 1      | 344,7    | 1       | 5               |
| A992 (ES_HR) | 1,1    | 379,2    | 1,15    | 5               |
| A572 Gr.50   | 1      | 344,7    | 1       | 5               |

En el caso de la verificación a través del método CBFEM se utilizó el análisis por capacidad. A diferencia de los otros análisis disponibles en el software este tipo de análisis se utiliza para poder realizar el diseño de uniones cuando alguno de los elementos de esta es considerado un elemento fusible. Un ejemplo de esto sería las vigas en el caso de pórticos de alta ductilidad como es el caso de la conexión End-Plate, donde se espera que dichas vigas tengan altas deformaciones plásticas.

La idea detrás de este tipo de diseño es que se pueda garantizar que el daño se concentre en una región controlada que pueda permitir alcanzar deformaciones plásticas y disipar energía.

Para poder realizar un diseño sísmico completo de la unión, se debe calcular la capacidad máxima esperada del elemento analizado que, en el caso específico de marcos a momento de alta ductilidad, será el momento plástico máximo probable y su cortante asociado. Para esto el software asigna un elemento disipativo a algún componente o elemento de la conexión, en primera instancia reconoce que el material tiene una sobre resistencia la cual es mayor al valor especificado por el fabricante, este factor se conoce como  $R_y$ . En el campo del endurecimiento por deformación el software calcula automáticamente la relación la cual proviene del Código AISC 358.

En resumen, al incluir un elemento disipativo al software lo que hace es modificar la curva del material a una curva con la forma de la figura:



Es importante mencionar que, el factor de seguridad del material (factor que reduce el valor de cedencia del material) no es incluido en el elemento disipativo.

Estados Límites considerados para comparación de métodos de cálculo

### 3.1.1 Resistencia de tracción (AISC 360-10, J3-1)

Verificación de Resistencia a la tracción:

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,9  |

|            |     |        |
|------------|-----|--------|
| Área Bruta | 507 | $mm^2$ |
| Fnt        | 620 | MPa    |

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo asumiendo que la tracción sucede solo en los ocho pernos superiores de la conexión, ya que, la fuerza resultante de la descomposición del momento flector coincide con una fuerza saliente desde la columna la cual se distribuye en una superficie de tracción que equivale a los ocho pernos superiores, en donde la demanda que le llega a cada uno de estos pernos es la misma. (Resultados en anexo D, Tabla 1.)

### 3.1.2 Resistencia al corte (AISC 360-10, J3-1)

Verificación de resistencia al corte:

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,9  |

|            |     |        |
|------------|-----|--------|
| Área Bruta | 507 | $mm^2$ |
| $F_{nv}$   | 372 | MPa    |

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo considerando los 16 pernos y asumiendo que la demanda del cortante último que le llega a cada uno de estos es la misma. (Resultados en anexo D, Tabla 2)

### 3.1.3 Resistencia de aplastamiento de perforaciones de pernos (AISC 360-10, J3-6a)

Verificación de resistencia a aplastamiento:

$$R_n = 1.2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,9  |

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo considerando los 16 pernos y asumiendo que la demanda del cortante último que le llega a cada uno de estos es la misma, en donde, la resistencia al desgarro es la que controla para cada perno.

En esta verificación el porcentaje de uso no se considera, ya que, la demanda la recibe el perno, pero la resistencia la otorga la placa en contacto con este. (Resultados en anexo D, Tabla 3)

### 3.1.4 Resistencia de la Soldadura (AISC 360-10, J2-4)

Verificación de Resistencia de la soldadura:

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we}$$

$$F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot \left(1 + 0.5 \cdot (\sin(\theta))^{1.5}\right)$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,75 |

Donde:

$\phi$  : Factor de resistencia para conexiones soldadas

$F_{nw}$  : Resistencia nominal del material de aportación (kN)

$A_{we}$  : Área eficaz del elemento de soldadura crítico ( $mm^2$ )

$\Theta$  : Ángulo de actuación de la carga c/r al eje de soldadura (Grados)

$F_{EXX}$  : Número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada. (MPa)

$T_h$  : Espesor de garganta de soldadura. (mm)

$L_s$  : Tamaño de la soldadura (mm)

$L$  : Longitud de la soldadura. (mm)

$L_c$  : Longitud del elemento crítico de la soldadura. (mm)

$F_n$  : Fuerza en el elemento crítico de la soldadura. (kN)

$U_t$  : Utilización. (%)

E70xx : Electrodo utilizado.

En la verificación para el caso del método tradicional, considera la longitud total de soldadura, en donde además se idealiza el modelo asumiendo que el ángulo de actuación de la carga c/r al eje de

soldadura es  $0^\circ$  cuando la fuerza que actúa es paralela al eje, o  $90^\circ$  en el caso de que esta fuerza actúe de forma perpendicular.

Es importante mencionar que ambos métodos coinciden en que cuando se realizan soldaduras de ranura de penetración de unión completa (CJP) con metal de relleno de resistencia coincidente, la fuerza de una conexión está gobernada o controlada por el, se requiere metal base y no se verifica la resistencia de la soldadura.

Para el método tradicional las cargas utilizadas son el corte último ( $V_u=178$  kN) en el caso de la soldadura que conecta el alma de la viga con la placa final, asumiendo un comportamiento bastante conservador, es decir, que el momento flector lo transmiten las soldaduras de las alas de la viga y la fuerza de corte el alma. Para la zona panel la solicitación considerada es la fuerza de diseño de los rigidizadores ( $F_{cu}= 582.72$  kN). En este caso la solicitación que le llega a las soldaduras es la mitad de  $F_{cu}$ , ya que, los rigidizadores están ubicados en ambos lados del alma de la columna.

En el caso del método CBFEM las solicitaciones con las cuales se compara la resistencia de la soldadura el programa las resuelve con la interacción de las fuerzas actuando. (Resultados en anexo D, Tabla 4 Y Tabla 5)

### Símbolos Utilizados

|                        |                                                                            |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| EP1                    | : Placa final                                                              |
| M2-bfl 1               | : Ala inferior de la viga                                                  |
| M2-tfl 1               | : Ala superior de la viga                                                  |
| M2-w 1                 | : Alma de la viga                                                          |
| WID1a                  | : Rigidizador superior que se conecta a la placa final y al ala de la viga |
| WID1b                  | : Rigidizador inferior que se conecta a la placa final y al ala de la viga |
| RIGIDIZAR1(a, b, c, d) | : Rigidizadores en zona panel                                              |
| SP1(a, b)              | : Placas rigidizadoras en el alma de columna                               |
| M1-w 1                 | : Alma de la columna                                                       |
| M1-bfl 1               | : Ala inferior de la columna                                               |
| M1-tfl 1               | : Ala superior de la columna                                               |

De acuerdo a las solicitaciones utilizadas por cada método para verificar la resistencia de los pernos, se aprecia que no es la misma en cada uno de ellos, debido al criterio que utiliza, en este caso el método tradicional, en donde la demanda se distribuye uniformemente para cada uno de los ocho pernos solicitados en tracción, en cambio el método CBFEM asigna de manera particular un porcentaje de la demanda total sobre cada perno en cuestión. Como consecuencia de lo anterior dichas demandas, en el caso del método tradicional su distribución es debido a la incertidumbre presente en el diseñador en el sentido de cuanta carga le llega a cada perno. En cambio, en el método CBFEM lo anterior no ocurre ya que la forma de analizar del programa es a través de los elementos finitos (FEM) el cual entrega el valor preciso de carga que le llega a cada perno.

En lo que respecta a las resistencias, dichos valores son el resultado de la aplicación de distintos factores de reducción, los cuales son distintos en ambos métodos ( $M_t=0,75$  y  $M_{CBFEM}=0,9$ ), ya que, en el caso del CBFEM aplica como criterio un análisis más real (Análisis de Capacidad) de la conexión debido a que es precalificada de alta ductilidad, lo que explica el factor de reducción más alto y permitiendo así anticipar posibles fallas en la unión. Respecto al método tradicional queda definido en el punto anterior. Es por esto que las resistencias y porcentajes de utilización no son comparables, pero si aplicables, con un rango de seguridad dentro los límites establecidos por los códigos.

En el caso de la resistencia al cortante a través del método tradicional se repite el mismo criterio de distribución de fuerzas que en el caso de tracción, con la diferencia que considera los dieciséis pernos solicitados a corte de la unión. Para el método CBFEM también coincide con el criterio adoptado en tracción, el cual consistía en la distribución particular de la solicitación a cada perno. Para el caso de las resistencias los factores permanecen constantes (0,75 y 0,9), es decir, se pueden comparar, pero la aplicación del resultado depende del criterio del Ingeniero.

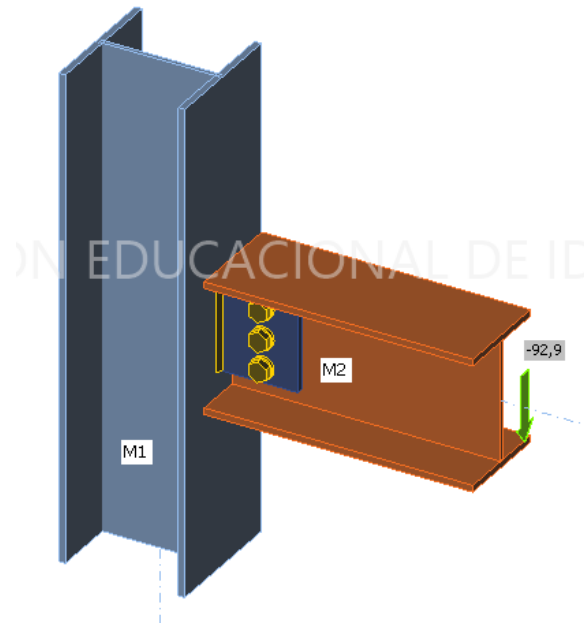
En el caso de la resistencia aplastamiento, al igual que el corte se considera uniforme la distribución de la demanda sobre cada elemento apernado. De acuerdo a los cálculos realizados y mostrados como resumen en la tabla 11, se concluye para ambos métodos que en el estado límite de aplastamiento la falla que controla es el desgarró en la placa final. Al igual que en los casos anteriores los factores de reducción de resistencia son distintos, pudiendo ser modificados en el caso del CBFEM en cualquier momento del análisis. En esta verificación no se considera el

porcentaje de utilización ya que el perno es el elemento que recibe la sollicitación provocando dicho estado límite en la placa final.

En consideración a la resistencia de la soldadura los factores utilizados para ambos métodos son iguales, ya que, la soldadura es un elemento de la conexión que se asume que no aporta ductilidad a la unión, por tanto, su valor es conservador con un valor de 0,75.

En cuanto a la sollicitación que llega a la soldadura en estudio, para el método tradicional los parámetros considerados en el cálculo de dicha resistencia (longitud de soldadura, ángulo respecto al eje del filete, fuerza sollicitante en el elemento de soldadura) son los que se modifican respecto al método utilizado, por ejemplo en el método tradicional se considera la longitud total de soldadura, con respecto al ángulo se asumen dos casos de acuerdo a la aplicación de la fuerza, es decir,  $0^\circ$  si la fuerza es paralela al eje de soldadura y  $90^\circ$  si es perpendicular, finalmente la fuerza que le llega a la soldadura es el 100 % de la misma. Con respecto al CBFEM la longitud utilizada es una longitud crítica, la cual se obtiene por medio del método de elementos finitos, es decir, el análisis individual de los elementos de soldadura obtenidos por dicho método, en cuanto al ángulo se obtiene de igual manera que la longitud crítica, es decir, el FEM va calculando el ángulo con que se le asigna un porcentaje de la fuerza a cada elemento y como consecuencia de este se obtiene una resistencia particular para cada elemento, mostrando en los resultados el elemento más desfavorable de soldadura.

### 3.2 Conexión a corte



**Figura 5. Conexión a Corte en Idea Statica Connection**  
Fuente: Elaboración propia

#### Secciones Utilizadas

| Nombre               | Material   |
|----------------------|------------|
| 1. Columna (HEA200)  | A572 Gr.50 |
| 2. Viga (IN 20x30.6) | A572 Gr.50 |

#### Tornillos

| Nombre   | Conjunto de tornillo | Diámetro (mm) | Fu (MPa) |
|----------|----------------------|---------------|----------|
| 5/8 A325 | 5/8 A325             | 16            | 830.0    |

#### Cargas

| Nombre | Elemento  | N (kN) | Vy (kN) | Vz (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | Mz (kNm) |
|--------|-----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE1    | M2 (Viga) | 0      | 0       | -139,6  | 0        | 0        | 0        |

#### Datos de diseño

| Material   | Fy (MPa) | $\xi_{lim}$ (%) |
|------------|----------|-----------------|
| A572 Gr.50 | 344,7    | 5               |

Estados Límites considerados para comparación de métodos de cálculo

### 3.2.1 Resistencia de tracción (AISC 360-10, J3-1)

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo asumiendo que la tracción en la conexión a corte no es determinante, ya que, lo que gobierna es el corte en los pernos.

### 3.2.2 Resistencia al corte (AISC 360-10, J3-1)

Verificación de Resistencia al corte:

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,75 |

|            |     |        |
|------------|-----|--------|
| Área Bruta | 201 | $mm^2$ |
| $F_{nv}$   | 372 | MPa    |

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo asumiendo que la demanda del cortante último que le llega a cada uno de los pernos es la misma. (Resultados en anexo E, Tabla 6).

### 3.2.3 Resistencia de aplastamiento de perforaciones de pernos (AISC 360-10, J3-6a)

Verificación de resistencia a aplastamiento:

$$R_n = 1.2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,75 |

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo asumiendo que la demanda del cortante último que le llega a cada uno de los pernos es la misma, en donde, la resistencia al desgarro es la que controla para cada uno de estos.

En esta verificación el porcentaje de uso no se considera, ya que, la demanda la recibe el perno, pero la resistencia la otorga la placa en contacto con este. (Resultados en anexo E, Tabla 7)

### 3.2.4 Resistencia de la Soldadura (AISC 360-10, J2-4)

Verificación de Resistencia de la soldadura:

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we}$$

$$F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot \left(1 + 0.5 \cdot (\sin(\theta))^{1.5}\right)$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,75 |

Donde:

$F_{nw}$  : Resistencia nominal del material de aportación (kN)

$A_{we}$  : Área eficaz del elemento de soldadura crítico ( $mm^2$ )

$\theta$  : Ángulo de actuación de la carga c/r al eje de soldadura (Grados)

$F_{EXX}$  : Número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada. (MPa)

$T_h$  : Espesor de garganta de soldadura. (mm)

$L_s$  : Tamaño de la soldadura (mm)

$L$  : Longitud de la soldadura. (mm)

$L_c$  : Longitud del elemento crítico de la soldadura. (mm)

$F_n$  : Fuerza en el elemento crítico de la soldadura. (kN)

$U_t$  : Utilización. (%)

E70xx : Electrodo utilizado.

Para la verificación mediante el método tradicional, se considera la longitud total de soldadura, en donde además se idealiza el modelo asumiendo que el ángulo de actuación de la carga c/r al eje de soldadura es  $0^\circ$ , es decir, la fuerza actúa paralela al eje.

### Símbolos Utilizados

M1-bfl 1: Ala inferior de la columna.

FP1: Placa transversal.

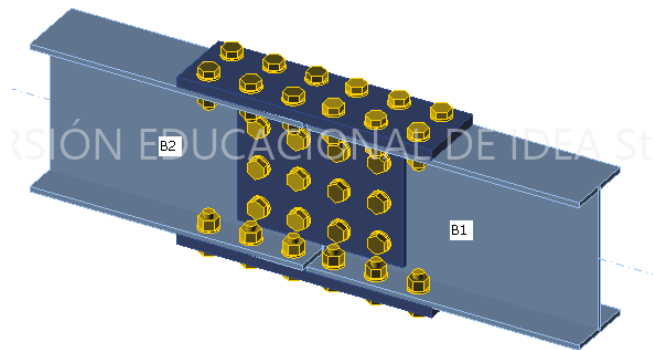
En la conexión a corte la demanda se obtuvo a partir de la resistencia al corte nominal de la viga (Eq. G2-1 AISC360-10), ya que, dicho elemento es el encargado de soportar cargas en toda su longitud, y al realizarse el análisis por capacidad ese es el requisito previo que se necesita.

De acuerdo a la demanda por corte en los pernos de dicha conexión, es prácticamente la misma para ambos métodos, lo cual trae como consecuencia las mismas capacidades y sus porcentajes de uso, verificándose así el cálculo manual en la herramienta computacional.

En el caso al aplastamiento al igual que la resistencia al corte, ambos métodos entregan los mismos resultados en la demanda y la resistencia, verificando nuevamente el cálculo manual mediante el programa (realizando previamente la correcta configuración del programa a las necesidades de la conexión), con respecto al porcentaje de uso de cada perno se omite, ya que, lo que se está obteniendo es una falla en la placa final como consecuencia de la demanda sobre los pernos.

Para la verificación de soldadura corresponde al mismo análisis hecho en la conexión end-plate tanto para el método tradicional como CBFEM. (Resultados Anexo E, Tabla 8 y Tabla 9)

### 3.3 Conexión de Empalme



**Figura 6. Conexión de Empalme en Idea Statica Connection**  
Fuente: Elaboración propia

En este caso se analizan dos estados de carga por separado, ya que, en la realidad ambas capacidades tanto el momento plástico de la viga como el corte nominal, no suceden en el mismo instante.

En el caso de la verificación a través del método CBFEM se realiza mediante el análisis tensión-deformación, analizando todas las placas de conexión apernada. En el caso del método convencional se idealiza la conexión, verificando la placa sometida a tracción y la placa sometida a corte ya que en estos casos se encuentran los estados límites que gobiernan en la conexión de empalme.

#### Secciones Utilizadas

| Nombre            | Material   |
|-------------------|------------|
| 1. Viga (IPE 330) | A572 Gr.50 |
| 2. Viga (IPE330)  | A572 Gr.50 |

#### Tornillos

| Nombre   | Conjunto de tornillo | Diámetro (mm) | Fu (MPa) |
|----------|----------------------|---------------|----------|
| 7/8 A325 | 7/8 A325             | 22            | 825.0    |

**Cargas**

| Nombre | Elemento  | N (kN) | Vy (kN) | Vz (kN) | Mx (kNm) | My (kNm) | Mz (kNm) |
|--------|-----------|--------|---------|---------|----------|----------|----------|
| LE5    | B1 (Viga) | 0      | 0       | -459,9  | 0        | 0        | 0        |
| LE6    | B1 (Viga) | 0      | 0       | 0       | 0        | 294,4    | 0        |

**Datos de diseño**

| Material   | Fy (MPa) | $\xi_{lim}$ (%) |
|------------|----------|-----------------|
| A572 Gr.50 | 344,7    | 5               |

Estados Límites considerados para comparación de métodos de cálculo.

Verificación respecto a la carga de corte nominal (LE5), conexión de corte en el alma.

**3.3.1 Resistencia de tracción (AISC 360-10, J3-1)**

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo asumiendo que la tracción en la conexión de empalme no es determinante, ya que, lo que gobierna es el corte en los pernos.

**3.3.2 Resistencia al corte (AISC 360-10, J3-1)**

Verificación de Resistencia al corte:

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,75 |

|            |     |        |
|------------|-----|--------|
| Área Bruta | 388 | $mm^2$ |
| Fnt        | 372 | MPa    |

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo asumiendo que la demanda del cortante último que le llega a cada uno de los pernos es la misma. (Resultados en anexo F, Tabla 10.)

### 3.3.3 Resistencia de aplastamiento de perforaciones de pernos (AISC 360-10, J3-6a)

Verificación de resistencia a aplastamiento:

$$R_n = 1.2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,75 |

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo considerando 6 de los 12 pernos ya que el corte nominal obtenido es de un perfil, por ende, se deben considerar los pernos presentes en este asumiendo que la demanda del cortante último que le llega a cada uno de los pernos es la misma. Además la resistencia al aplastamiento (Límite superior de la condición en la verificación de aplastamiento) es la que controla para cada uno de estos.

En esta verificación el porcentaje de uso no se considera, ya que, la demanda la recibe el perno, pero la resistencia la otorga la placa en contacto con este. (Resultados en anexo F, Tabla 11.)

Para la conexión tipo empalme, esta se divide para su análisis en dos conexiones, en las alas de la viga como conexión a momento y en las almas de las vigas como conexión a corte, analizándose ambos casos por separado. En este caso en la verificación a través del método CBFEM se observa que algunos pernos su nivel de utilización bordea el 100%, ya que, el hecho de utilizar el cortante a capacidad se le está entregando al software un caso que no es real, aunque es un criterio que se usa en la práctica, en la realidad las fuerzas cortantes resultantes son mucho menores al corte nominal.

En primer lugar, se verifica la conexión a corte utilizando como demanda la resistencia nominal al corte de la viga, obteniendo de esta manera el mismo criterio utilizado en la conexión a corte, en lo que respecta a la distribución de las cargas y resistencias para el método tradicional, y para el CBFEM la demanda en los elementos también se asigna de forma particular junto con las resistencias siendo estas de forma simétrica en la ubicación de los pernos. La diferencia del CBFEM en comparación con el método tradicional es que el porcentaje de uso se puede visualizar de mejor manera para los elementos individuales, pudiendo discriminar así los elementos con su sollicitación específica.

En segundo lugar, en lo que respecta al aplastamiento se mantiene el criterio de distribución de carga para ambos métodos junto con la obtención de la resistencia.

Verificación respecto a la carga de momento plástico (LE6), en placas de conexión en las alas.

### 3.3.5 Resistencia de tracción (AISC 360-10, J3-1)

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo asumiendo que la tracción en la conexión de empalme no es determinante, ya que, lo que gobierna es el corte en los pernos.

### 3.3.6 Resistencia al corte (AISC 360-10, J3-1)

Verificación de Resistencia al corte:

$$\phi \cdot R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,75 |

|            |     |        |
|------------|-----|--------|
| Área Bruta | 388 | $mm^2$ |
| Fnt        | 372 | MPa    |

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo asumiendo que la demanda del cortante último que le llega a cada uno de los pernos es la misma. (Resultados en anexo F, Tabla 12.)

### 3.3.7 Resistencia de aplastamiento de perforaciones de pernos (AISC 360-10, J3-6a)

Verificación de resistencia a aplastamiento:

$$R_n = 1.2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

|                |      |
|----------------|------|
| $\phi_{mt}$    | 0,75 |
| $\phi_{cbfem}$ | 0,75 |

En la verificación a través del método tradicional, se idealiza el modelo considerando 6 de los 12 pernos ya que el momento flector (momento plástico) obtenido es de un perfil, por ende, se deben considerar los pernos presentes en este, en donde además se asume que la demanda de la fuerza de tracción que se genera como consecuencia de la descomposición del momento flector es la misma para cada una de los pernos, afectando a la vez la resistencia al corte de estos. Además la resistencia al desgarro (Límite inferior de la condición en la verificación de aplastamiento) debido al aplastamiento generado por el perno es la que controla para cada uno de estos.

En esta verificación el porcentaje de uso no se considera, ya que, la demanda la recibe el perno, pero la resistencia la otorga la placa en contacto con este. (Resultados en anexo F, Tabla 13.)

En la conexión a momento contenida, el momento flector (Momento plástico de la viga) se descompone generando fuerzas de corte en los pernos ubicados en las alas, las cuales prevalecen ante las fuerzas de tensión provocadas en los mismos. En este caso del empalme se aplica el mismo criterio que en la etapa anterior (corte en el alma del empalme) obteniendo así conclusiones similares.

#### **4. CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos en el presente trabajo pueden ser resumidos en las siguientes conclusiones:

El objetivo general se cumplió por medio de la comprobación de los objetivos específicos, en donde a través de los resultados obtenidos se verifica que el software idea Statica Connection sirve como herramienta de diseño, verificación, visualización y optimización de las conexiones empleadas en lo que respecta a este trabajo, en donde además se puede aprovechar su velocidad de cálculo y método de análisis, no ignorando que la mayor ventaja del programa se ve reflejada en el diseño de conexiones complejas donde no existen normativas que permitan al ingeniero comprobar por medio de expresiones empíricas el desempeño de dichas conexiones.

Para la comparación de dichos métodos utilizados en este trabajo, el criterio adoptado será a través de la comparación de los elementos particulares que conforman los tipos de conexiones usados.

##### **Pernos**

En lo que respecta al código de diseño usado por los métodos, para el caso del método tradicional se basa en el AISC 360-10, en cambio el CBFEM verifica con el código 360-16, con la salvedad de que las expresiones utilizadas en dicho código coinciden con el AISC 360-10.

En el caso de las tres conexiones analizadas los estados limites que verifican a los pernos son los mismos, obteniendo para ambos casos una demanda, resistencia y porcentaje de utilización, pudiendo extenderse lo anterior en lo que respecta al método CBFEM, ya que, permite obtener adicionalmente el porcentaje de utilización a tracción, cortante y tensión-cortante según sea el caso en cualquier tipo de conexión, por ejemplo se obtiene la visualización de las fuerzas actuantes en los pernos como consecuencia de la distribución de la demanda por corte, lo cual no es posible en el método tradicional.

##### **Soldadura**

Para la verificación de soldadura mediante el método tradicional se considera la longitud total del filete y se calcula el tamaño de la garganta de soldadura, obteniendo así la resistencia total. En cambio, a través del programa se considera un elemento crítico de soldadura el cual se obtiene por medio de elementos finitos, en donde se utiliza el más solicitado para el cálculo de la resistencia

de dicho elemento, esto tiene como consecuencia conocer la ubicación que contenga la mayor concentración de tensiones. De acuerdo a lo anterior el cálculo no es comparable con un diseño real ya que en la práctica la longitud utilizada para la verificación de la resistencia es la longitud total, teniendo como ventaja poder visualizar las zonas de la junta a través de la longitud de soldadura para un posible refuerzo en el caso de estar cerca del criterio de falla utilizado, lo cual por medio del método tradicional no es posible.

Las resistencias obtenidas pueden ser comparadas observando el número de divisiones generadas por el mallado en el elemento de soldadura cuyo valor total de divisiones es utilizado para distribuir la resistencia entregada por el método tradicional equivalente al CBFEM pudiendo comparar si la fracción de la resistencia obtenida por este último método se aproxima a la resistencia resultante por el CBFEM a nivel de elemento. Es importante tener en cuenta que al realizar la verificación a través del programa el tamaño de la garganta de soldadura asignado es por defecto, es decir, se considera la mitad del menor espesor conectado siendo este un límite mínimo de longitud para la garganta.

### **Placas**

En lo que respecta al análisis de las placas por el método tradicional, se emplean directamente las expresiones establecidas en el código, las cuales entregan un valor de acuerdo a la capacidad del elemento para distintos estados límites, teniendo en cuenta que para en este caso no pueden ser comparadas con el CBFEM, ya que, dicho método emplea un análisis no lineal con un límite de deformación plástica de un 5% a través de elementos finitos de manera general para las placas en cualquier tipo de conexión, no limitándose a la verificación por medio de un código de diseño, y a la vez permitiendo así un espectro más amplio en el diseño de conexiones, lo que no significa que el cálculo mediante el método tradicional sea menos confiable.

Las ventajas que presenta la verificación sobre las placas a través del CBFEM son, la visualización del porcentaje de deformación plástica que presenta después de haber efectuado el análisis y además se le puede aplicar del análisis de abolladura (pandeo) el cual no se considera en el presente trabajo.

Nota: El programa permite asignar escalones de carga por medio de iteraciones, es decir, utiliza porcentajes de la carga total para identificar si en algún instante uno de los elementos de la conexión pueda no satisfacer la verificación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahumada, Ing. Carlos Aguirre. Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero. (2010). alacero- ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DEL ACERO. Santiago , Chile.
- ANSI/AISC 341-10. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. (s.f.). AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION.
- ANSI/AISC 358-10. Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications. (s.f.). AISC .
- arquitectura+acero. libertad & diseño. (s.f.). *arquitecturaenacero.org* .
- Jack C. McCormac - Csernak, J. C.-S. (s.f.). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO* .
- Virdi (1999)
- IDEA Connection Theoretical background. (s.f.). *Idea Statica Connections* .
- ICHA (2000).
- NCh 427/1 Construcción - Estructuras de acero - Parte 1: Requisitos para el cálculo de estructuras de acero para edificios. (12 de noviembre de 2016). INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. *primera*. Chile.
- SEGUI, W. T. (s.f.). *STEEL DESIGN* .
- Steel Design Guide N°4. Extended End-Plate Moment Connections. Seismic and wind Applications. (s.f.). AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (2004) .
- Revista ingeniería/tercer trimestre/2010/189
- [www.construccionenacero.com](http://www.construccionenacero.com)

## ANEXOS

### A. Procedimiento de Diseño End-plate

Los cuatro parámetros principales para el diseño de una conexión resistente a momento de tipo placa final se basan en la conexión resistente a momento de acuerdo al diseño requerido, la fuerza requerida de los pernos en la conexión, la resistencia de la placa final y la resistencia a flexión de la aleta de la columna.

**Paso 1.** Determine los tamaños de los miembros conectados (vigas y columna) y calcule el momento en la cara de la columna,  $M_f$ .

$$M_f = M_{pr} + V_u S_h$$

Donde:

$M_{pr}$  : Momento máximo probable en la rótula plástica, kip-in. (N-mm), dada por la ecuación 2.4.3-1

$S_h$  = Distancia desde la cara de la columna a la rótula plástica, pulg. (mm).

= El menor de  $d/2$  o  $3b_{bf}$  para una conexión sin refuerzo (4E).

=  $L_{st} + T_p$  para una conexión rigidizada (4ES, 8ES).

$V_u$  : Fuerza cortante al final de la viga, kips (N)

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravity}$$

$b_{bf}$  : Ancho del ala de la viga, pulg. (mm)

$d$  : Profundidad de la viga de conexión, pulg. (mm)

$L_h$  : Distancia entre ubicaciones de rótulas plásticas, pulg. (mm)

$L_{st}$  : Longitud del refuerzo de la placa final, como se muestra en la figura 6.5, pulg. (mm).

$T_p$  : Espesor de la placa final, pulg. (mm)

$V_{gravity}$  : Cortante por carga gravitacional

**Paso 2.** Seleccione una de las tres configuraciones de conexión de momento de la placa final y establezca valores preliminares para la geometría de conexión ( $g, p_{fi}, p_{fo}, p_b, g, h_i$ , etc.) y el grado de perno.

**Paso 3.** Determine el diámetro de perno requerido,  $d_{b\ req' d}$ , usando una de las siguientes expresiones.

Para conexiones de cuatro pernos (4E, 4ES):

$$d_{b\ req' d} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi \phi_n F_{nt} (h_o + h_1)}}$$

Para conexiones de ocho pernos (8ES):

$$d_{b\ req' d} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi \phi_n F_{nt} (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}}$$

Donde:

$F_{nt}$  : Resistencia a la tracción nominal del perno de la especificación AISC, ksi (MPa)

$h_i$  : Distancia desde la línea central del ala en compresión de la viga hasta la línea central de la fila de pernos interiores del lado de tensión.

$h_o$  : Distancia desde la línea central del ala en compresión hasta la fila de pernos exteriores del lado de tensión, pulg. (mm)

**Paso 4.** Seleccione un diámetro de perno de prueba,  $d_b$ , no menor que el requerido en la Sección 6.10.1 Paso 3.

**Paso 5.** Determine el espesor requerido de la placa final,  $t_{p\ req' d}$ .

$$t_{p\ req' d} = \sqrt{\frac{1.11M_f}{\phi_d F_{yp} Y_p}}$$

Donde:

$F_{yp}$  : Límite de elasticidad mínimo especificado del material de la placa final, ksi (MPa)

$Y_p$  : Parámetro de mecanismo de línea de fluencia de placa final de las tablas 6.2, 6.3 o 6.4, pulg. (mm) |

**Paso 6.** Seleccione un espesor de placa final,  $t_p$ , no inferior al valor requerido.

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d - t_{bf}}$$

Donde:

$d$  : Profundidad de la viga, pulg. (mm)

$t_{bf}$  : Espesor del ala de la viga, pulg. (mm)

**Paso 8.** Verifique el rendimiento de corte de la porción extendida de la placa final no reforzada extendida de cuatro pernos (4E):

$$F_{fu}/2 \leq \phi_d R_n = \phi_d (0.6) F_{yp} b_p t_p$$

Donde  $b_p$  es el ancho de la placa final, en pulgadas (mm), que debe tomarse como no mayor que el ancho del ala de la viga más 1 pulgada (25 mm).

Si no se cumple la ecuación 6.10-7, aumente el grosor de la placa final o aumente el límite elástico del material de la placa final.

**Paso 9.** Verifique la ruptura de corte de la porción extendida de la placa final no reforzada extendida de cuatro pernos (4E):

$$F_{fu}/2 \leq \phi_n R_n = \phi_n (0.6) F_{up} A_n$$

Donde:

$F_{up}$  : esfuerzo de tracción mínimo especificado de la placa final, ksi (MPa)

$A_n$  : área neta de la placa final

$= t_p \left[ b_p - 2 \left( d_b + \frac{1}{8} \right) \right]$  cuando se utilizan agujeros estándar,  $pulg^2$ .

$= t_p [b_p - 2(d_b + 3)]$  cuando se usan agujeros estándar,  $mm^2$ .

$d_b$  : Diámetro del perno, pulg. (mm)

Si no se satisface la ecuación 6.10-8, aumente el espesor de la placa final o aumente el límite elástico del material de la placa final.

**Paso 10.** Si utiliza la placa final rígida extendida de cuatro pernos (4ES) o la conexión de placa final rígida extendida de ocho pernos (8ES), seleccione el espesor del refuerzo de la placa final y diseñe la soldadura entre el refuerzo y su unión con el ala de la viga y la placa final.

$$t_s \geq t_{bw} \left( \frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right)$$

Donde:

$T_{bw}$  : Espesor del alma de la viga, pulg. (mm)

$T_s$  : Espesor del rigidizador de la placa final, pulg. (mm)

$F_{yb}$  : Límite de fluencia mínimo especificado del material de la viga, ksi (MPa)

$F_{ys}$  : Límite de fluencia mínimo especificado del material de refuerzo, ksi (MPa)

La geometría del refuerzo debe cumplir con los requisitos de la Sección 6.9.4. Además, para evitar el pandeo local de la placa de refuerzo, se debe cumplir el siguiente criterio de ancho a espesor.

$$\frac{h_{st}}{t_s} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

Donde  $h_{st}$  es la altura del refuerzo, pulg. (mm), igual a la altura de la placa final desde la cara exterior del ala de la viga hasta el término de la placa final.

Las soldaduras entre la placa de refuerzo-viga y placa de refuerzo-placa final se diseñarán para soportar esfuerzos de corte en la unión placa de refuerzo-viga y soportar esfuerzo de tracción en el contacto placa de refuerzo-placa final. Las soldaduras de filete o de ranura de penetración de unión completa (CJP) son adecuadas para la soldadura desde la placa de refuerzo al ala de la viga. Las soldaduras de ranura CJP se utilizarán para la soldadura de la placa de refuerzo a la placa final. Si

la placa final tiene un espesor de 3/8 pulg. (10 mm) o menos, se permiten soldaduras de filete dobles.

**Paso 11.** La resistencia a la ruptura por corte de los pernos de la conexión es proporcionada por los pernos ubicados en el ala en compresión. Así:

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n (n_b) F_{nv} A_b$$

donde

$n_b$  = número de pernos en el ala de compresión

= 4 para conexiones 4E y 4ES

= 8 para conexiones 8ES

$A_b$  = área bruta nominal del perno, pulg.<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

$F_{nv}$  = resistencia al corte nominal del perno de la especificación AISC, ksi (MPa)

$V_u$  = fuerza de corte al final de la viga, kips (N), dada por la ecuación 6.10-2

**Paso 12.** Verifique la falla del orificio del perno / desgarró de la placa final y ala de la columna:

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no}$$

Donde

$n_i$  = número de pernos internos

= 2 para conexiones 4E y 4ES

= 4 para conexiones 8ES

$n_o$  = número de pernos externos

= 2 para conexiones 4E y 4ES

= 4 para conexiones 8ES

$r_{ni}$  =  $1.2 L_c * t * F_u < 2.4 * d_b * t * F_u$  para cada perno interno

$r_{no} = 1.2 L_c * t * F_u < 2.4 * d_b * t * F_u$  para cada perno externo

$L_c$  = distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del orificio y el borde del orificio adyacente o borde del material, pulg. (Mm)

$F_u$  = resistencia a la tracción mínima especificada de material de placa final o ala de columna, ksi (MPa)

$d_b$  = diámetro del perno, pulg. (mm)

$t$  = espesor de placa final o del ala de la columna, pulg. (mm)

**Paso 13.** Diseño de la soldadura entre el ala y el alma de la viga a la placa final utilizando los requisitos de la Sección 6.9.7.

### Diseño del lado de la columna

Verificar el ala de la columna para ver si se produce flexión.

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11 M_f}{\phi_d F_{yc} Y_c}}$$

donde

$F_{yc}$  = límite de fluencia mínimo especificado del material del ala de la columna, ksi (MPa)

$Y_c$  = parámetro de mecanismo de línea de fluencia del ala de la columna no endurecida de la Tabla 6.5 o la Tabla 6.6, pulg. (mm)

$t_{cf}$  = espesor del ala de la columna, pulg. (mm)

Si no se cumple la ecuación, aumente el tamaño de la columna o agregue placas de continuidad.

Si se agregan placas de continuidad, verifique la Ecuación 6.10-13 (Código AISC 358-10), usando  $Y_c$  para el ala de columna rígida de las Tablas 6.5 y 6.6 (Código AISC 358-10).

**Paso 2.** Si se requieren placas de continuidad para controlar la flexión del ala de la columna, determine la fuerza de refuerzo requerida.

La resistencia del diseño a flexión del ala de la columna es:

$$\phi_d M_{cf} = \phi_d F_{yc} Y_c t_{cf}^2$$

Donde  $Y_c$  es el parámetro del mecanismo de la línea de fluencia de la columna no rígida de la Tabla 6.5 o la Tabla 6.6 (Código AISC 358-10), pulgadas (mm). Por lo tanto, la fuerza de diseño del ala de la columna equivalente es:

$$\phi_d R_n = \frac{\phi_d M_{cf}}{(d - t_{bf})}$$

Usando  $\phi_d R_n$ , la fuerza requerida para el diseño de la placa de continuidad se determina en la Sección 6.10.2 Paso 6.

**Paso 3.** Verifique la resistencia a la deformación del alma local de la columna sin refuerzo en las alas de la viga.

Requisito de fuerza:

$$F_{fu} \leq \phi_d R_n$$

$$R_n = C_t(6k_c + t_{bf} + 2t_p)F_{yc}t_{cw}$$

Donde

$C_t$  = 0.5 si la distancia desde la parte superior de la columna hasta la cara superior del ala de la viga es menor que la profundidad de la columna.

= 1.0 de lo contrario

$F_{yc}$  = límite elástico especificado del material del ala de la columna, ksi (MPa)

$K_c$  = distancia desde la cara externa del ala de la columna a la punta del alma del filete (valor de diseño) o soldadura de filete, pulg. (mm)

$T_{cw}$  = espesor del ala de la columna, pulg. (mm)

Si no se cumple el requisito de resistencia de la Ecuación 6.10-16, se requieren placas de continuidad en el alma de la columna.

**Paso 4.** Verifique la resistencia al pandeo en el alma de la columna no rígida en el ala de compresión de la viga.

Requisito de fuerza:

$$F_{fu} \leq \phi R_n$$

Donde  $\phi=0.75$

(a) Cuando  $F_{fu}$  se aplica a una distancia mayor o igual a  $d_c / 2$  desde el final de la columna

$$R_n = \frac{24 t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h}$$

(b) Cuando  $F_{fu}$  se aplica a una distancia menor que  $d_c / 2$  desde el final de la columna

$$R_n = \frac{12 t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h}$$

Donde h es la distancia libre entre las alas menos el radio de filete o esquina para formas laminadas; distancia libre entre alas cuando se utilizan soldaduras para formas construidas, pulg. (mm)

Si no se cumple el requisito de resistencia de la Ecuación 6.10-18, entonces se requieren placas de continuidad en el alma de la columna.

**Paso 5.** Verifique la resistencia de deformación del alma de la columna no rígida en ala de compresión de la viga.

Requisito de fuerza:

$$F_{fu} \leq \phi R_n$$

Donde  $\phi=0.75$

(a) Cuando  $F_{fu}$  se aplica a una distancia mayor o igual a  $d_c / 2$  desde el final de la columna

$$R_n = 0.80 t_{cw}^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d_c} \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}}$$

(b) Cuando  $F_{fu}$  se aplica a una distancia menor que  $d_c / 2$  desde el final de la columna

Para  $\frac{N}{d_c} \leq 0.2$ ,

$$R_n = 0.40 t_{cw}^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d_c} \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yc}t_{cf}}{t_{cw}}}$$

Para  $\frac{N}{d_c} > 0.2$ ,

$$R_n = 0.40 t_{cw}^2 \left[ 1 + \left( \frac{4N}{d_c} - 0.2 \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yc}t_{cf}}{t_{cw}}}$$

Donde

$N$  = espesor del ala de la viga más 2 veces el tamaño de la pata de refuerzo de la soldadura por ranura, pulg. (mm)

$d_c$  = profundidad total de la columna, pulg. (mm)

Si no se cumple el requisito de resistencia de la Ecuación 6.10-21, entonces se requieren placas de continuidad en el alma de columna.

**Paso 6.** Si se requieren placas de refuerzo para cualquiera de los estados límite del lado de la columna, la resistencia requerida es:

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

donde  $\min(\phi R_n)$  es el valor mínimo de resistencia de diseño de la Sección 6.10.2 Paso 2 (flexión del ala de la columna), Paso 3 (rendimiento del alma de la columna), Paso 4 (pandeo de la columna) y Paso 5 (deformación del alma de la columna)

El diseño de las placas de continuidad también se ajustará al Capítulo E de las Disposiciones sísmicas AISC, y las soldaduras se diseñarán de acuerdo con la Sección 6.7 (3) (Código AISC 358-10).

**Paso 7.** Verifique la zona del panel de acuerdo con la Sección 6.6 (1) (Código AISC 358-10).

## B. Procedimiento de diseño conexión a corte

Estados límite:

- Corte del perno
- Soldadura
- Rendimiento de la placa
- Ruptura de la placa
- Aplastamiento del perno y desgarro en la placa
- Aplastamiento del perno y desgarro en el alma de la viga
- Corte de bloque en la placa
- Corte de bloque en el alma de la viga

### Corte del perno

La resistencia al corte del perno se controla mediante la ecuación de especificación AISC. J3-1 y es independiente de la dirección de aplicación de la carga. Por lo tanto, la resistencia al corte nominal de un perno puede tomarse como  $R_n$ . Con  $\phi = 0.75$  y  $n$  siendo el número de tornillos:

$$R_n = F_n A_b$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$F_n$  = Tensión de tracción nominal,  $F_{nt}$ , o tensión de corte nominal,  $F_{nv}$ , según la Tabla J3.2,  $\text{Kg/cm}^2$  (MPa).

$A_b$  = área bruta del perno o parte roscada (para barras con extremos ensanchados, ver nota al pie [d], Tabla J3.2 (Código AISC 360-10)),  $\text{cm}^2$ , ( $\text{mm}^2$ ).

## Soldadura

Se requiere la conexión de corte de placa simple de configuración convencional para tener dos soldaduras de relleno de 5/8 de espesor de la placa, tp. Esto asegura que la soldadura no será un elemento crítico cuando se use material de placa de 36 ksi o 50 ksi. La resistencia de diseño de la soldadura, basada en la ecuación de especificación AISC. J2-4 (Código AISC 360-10) es:

$$R_n = F_{nw} A_{we}$$

Donde:

$$F_{nw} = 0,60 F_{EXX} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta)$$

Y

$F_{EXX}$  = resistencia de clasificación del metal de relleno,  $\text{Kgf/cm}^2$  (MPa).

$\theta$  = ángulo de carga medido desde el eje longitudinal de la soldadura, grados.

**Nota:** Un grupo lineal de soldaduras es aquel en que todos sus elementos están en una línea o son paralelos.

La fuerza de tensión se aplica a  $90^\circ$  al eje longitudinal de la soldadura, con la ecuación de especificación AISC. J2-5 (Código AISC 360-10).

$$F_{nw} = 0,60 F_{EXX} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta)$$

## Fluencia de la Placa

El estado límite para el rendimiento de la placa en corte está controlado por la ecuación de especificación AISC. J4-3. Por lo tanto, con  $\phi = 1.00$ ,

$$R_n = 0,60 F_y A_{gv}$$

$$\phi = 1,00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1,50 \text{ (ASD)}$$

Donde

$A_{gv}$  = área bruta solicitada al corte,  $cm^2$  ( $mm^2$ )

Para el estado límite de rendimiento de la placa en tensión, la especificación AISC Eq. Controles J4-1. Así,

$$R_n = F_y A_g$$

$$\phi = 0,90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1,67 \text{ (ASD)}$$

### Rotura de placa

El estado límite para la ruptura de la placa en el corte está dado por la ecuación de especificación AISC. J4-4. Por lo tanto, con  $\phi = 0.75$

$$R_n = 0,6F_u A_{nv}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

La ruptura de tracción está dada por la especificación AISC Eq. J4-2. Por definición, el área neta de la placa para corte y tensión es la misma. Así,

$$R_n = F_u A_e$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

Donde

$A_e$  = área neta efectiva como se define en la Sección D3.3,  $cm^2$  ( $mm^2$ ); para planchas de empalme apernadas,  $A_e = A_n \leq 0,85A_g$

**Nota:** El área efectiva neta de la plancha de conexión puede estar limitada debido a la distribución de tensiones las que son determinadas por métodos tales como la sección Whitmore.

### **Aplastamiento de perno y desgarro en placa**

El aplastamiento y el desgarro están controlados por las disposiciones de la Sección J3.10 de la Especificación AISC. Para el corte, la deformación en la carga de servicio es una consideración de diseño normal. Los requisitos establecidos en la especificación AISC Eq. J3-6a se aplica cuando se utilizan orificios ranurados estándar o cortos, los cuales están permitidos para conexiones de corte de placa simple de configuración convencional. Para la resistencia al corte de diseño, se supone que todos los pernos están en su resistencia de rodamiento completa como se indica en el lado derecho de la ecuación de especificación AISC. J3-6a (Código AISC 360-10).

$$R_n = 1,2 l_t F_u \leq 2,4 d t F_u$$

Para considerar la integridad estructural, la deformación no necesita ser una consideración de diseño, como se estipula en la Sección B3.2 del borrador final de la Especificación AISC 2010. Por lo tanto, la resistencia a la tensión nominal está controlada por la ecuación de especificación AISC 2005. J3-6b (Código AISC 360-10).

$$R_n = 1,5 l_t F_u \leq 3,0 d t F_u$$

Para orificios ranurados cortos, las dimensiones de los orificios se proporcionan en la Tabla de especificación AISC J3.3. Debido a que la resistencia al desgarro será mayor para los agujeros estándar que para los agujeros ranurados cortos, los agujeros ranurados cortos proporcionarán una comparación conservadora.

### **Aplastamiento de perno y desgarro en el alma de la viga**

La evaluación del aplastamiento del perno y el desgarro en el alma de la viga sigue el mismo procedimiento que para la placa. Para el corte, se supone que todos los tornillos están en su fuerza de rodamiento completa. Esto se usará incluso si la viga está revestida porque da un límite superior en la resistencia al corte.

### **Bloque de corte en placa**

La resistencia al corte del bloque está controlada por las disposiciones de la sección J4.3 de la especificación AISC y la ecuación específica. J4-5. Para la resistencia al corte de diseño, se

supondrá que controlará la ruptura por corte en combinación con la ruptura por tensión. Esto dará una resistencia de límite superior si el rendimiento de cizalladura sucedió para controlar. Además, para una línea de tornillos  $U_{bs} = 1.0$ . La Figura 2 (a) muestra la placa única con los planos de falla de corte del bloque para una carga de corte observada. Especificación AISC Ec. J4-5, considerando solo la ruptura y  $\phi = 0.75$ , puede escribirse como

$$R_n = 0,6F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0,6F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

Donde

$A_{nt}$  = área neta solicitada a tracción,  $cm^2$  ( $mm^2$ ).

Cuando la tensión de tracción es uniforme,  $U_{bs} = 1$ ; si la tensión es no uniforme,  $U_{bs} = 0,5$ .

Los planos de corte del bloque para la fuerza de tensión se muestran en la Figura 2 (b).

### **Bloque de corte en el alma de la viga**

Para los primeros siete estados límite considerados en este documento para la conexión de corte de placa única, se evaluó el mismo estado límite para la resistencia al corte de diseño y la resistencia a la tensión nominal. Aunque no es imperativo que se haga de esta manera, generalmente facilita las comparaciones porque se utilizan los mismos parámetros para cada fuerza. Para el caso del bloque de corte en el alma de la viga, será más fácil considerar el corte de bloques para la fuerza de tensión mientras se considera el rodamiento y el desgarró para la fuerza de corte.

## **C. Procedimiento de diseño conexión de empalme (basado en AISC 360-10)**

### **Empalmes de vigas (Estados límites)**

#### **Resistencia de bloque de corte (placa)**

La resistencia disponible para el estado límite de bloque de corte a lo largo de la trayectoria(s) de falla por corte y una trayectoria perpendicular de falla por tracción de tomarse como

$$R_n = 0,6F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \leq 0,6F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

Donde

$A_{nt}$  = Área neta solicitada a tracción,  $cm^2$  ( $mm^2$ )

Cuando la tensión de tracción es uniforme,  $U_{bs}=1$ ; si la tensión de tracción es no uniforme,  $U_{bs} = 0,5$ .

### Resistencia de tracción y corte de pernos y partes enroscadas

La resistencia de diseño en tracción y de corte,  $\Phi R_n$ , y la resistencia admisible de tracción y de corte,  $R_n/\Omega$ , de un perno de alta resistencia con apriete ajustado o pretensionado o de una parte roscada debe ser determinada de acuerdo con los estados límites de ruptura en tracción y ruptura en corte como se indica a continuación:

$$R_n = F_n A_b$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

Donde

$F_n$  = Tensión de tracción nominal,  $F_{nt}$ , o tensión de corte nominal,  $F_{nv}$ , según la Tabla J3.2  $kgf/cm^2$  (MPa).

$A_b$  = área bruta del perno o parte roscada (para barra con extremos ensanchados, ver nota al pie [d], Tabla J3.2),  $cm^2$  ( $mm^2$ )

La resistencia requerida de tracción debe incluir cualquier tracción resultante por la acción de palanca producida por la deformación de las partes conectadas.

### Resistencia de aplastamiento de perforaciones de pernos

La resistencia de aplastamiento disponible,  $\Phi R_n$  o  $R_n/\Omega$ , en perforaciones de pernos debe ser determinada para el estado límite de aplastamiento como se muestra a continuación:

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

La resistencia nominal de aplastamiento del material conectado,  $R_n$ , es determinada como sigue:

$$R_n = 1,2 l_c t F_u \leq 2,4 d t F_u$$

Donde

$l_c$  = Distancia libre, en la dirección de la carga, entre el borde de la perforación y el borde de la perforación adyacente o borde del material, cm (mm)

$t$  = espesor del material conectado, cm (mm)

$F_u$  = Resistencia última mínima, especificada del material conectado,  $\text{kgf/cm}^2$  (MPa)

$d$  = Diámetro nominal del perno, cm (mm)

### Fluencia y rotura en corte (placas)

La resistencia de corte disponible de elementos involucrados y elementos conectores en corte debe ser el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de fluencia en corte y ruptura en corte.

Fluencia en corte del elemento:

$$R_n = 0,60 F_y A_{gv}$$

$$\phi = 1,00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1,50 \text{ (ASD)}$$

$A_{gv}$  = Área bruta solicitada a corte,  $\text{cm}^2$  ( $\text{mm}^2$ )

Ruptura en corte del elemento:

$$R_n = 0,6 F_u A_{nv}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

$A_{nv}$  = Área neta solicitada a corte,  $\text{cm}^2$  ( $\text{mm}^2$ )

### Fluencia y rotura en tracción (placas)

La resistencia de diseño,  $\Phi R_n$ , o la resistencia disponible,  $R_n/\Omega$ , de elementos involucrados y conectores cargados en tracción debe ser el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de fluencia en tracción y ruptura en tracción.

Fluencia en tracción del elemento:

$$R_n = F_y A_g$$

$$\phi = 0,90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 1,67 \text{ (ASD)}$$

Ruptura en tracción del elemento:

$$R_n = F_u A_e$$

$$\phi = 0,75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega = 2,00 \text{ (ASD)}$$

$A_e$  = Área neta efectiva como se define en la sección D3.3,  $cm^2$  ( $mm^2$ ); para planchas de empalmes apernadas,  $A_e = A_n \leq 0,85A_g$

### Resistencia de la soldadura

Para un grupo lineal de soldaduras con un tamaño de ala uniforme, cargado a través del centro de gravedad.

$$R_n = F_{nw} A_{we}$$

Donde

$$F_{nw} = 0,60 F_{EXX} (1,0 + 0,50 \sin^{1,5} \theta)$$

$F_{EXX}$  = Resistencia de clasificación del metal de relleno,  $kgf/cm^2$  (MPa)

$\theta$  = Ángulo de carga medido desde el eje longitudinal de la soldadura, grados.

Nota: Un grupo lineal de soldadura es aquel en que todos sus elementos están en una línea o son paralelos.

### Empalmes de columnas

En el caso de empalme de columna se verifica de la misma forma que el empalme de viga, exceptuando el estado límite de bloque de corte, debido a que no hay tracción.

### D. Tablas de resultados conexión End-plate.

| Perno | Tracción           |                       |       |              |                  |       |
|-------|--------------------|-----------------------|-------|--------------|------------------|-------|
|       | Método Tradicional |                       |       | CBFEM        |                  |       |
|       | Demanda (kN)       | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso | Demanda (kN) | $\phi \cdot R_n$ | % Uso |
| B1    | 220,2              | 235,6                 | 93,5  | 256,1        | 282,7            | 90,6  |
| B2    | 220,2              | 235,6                 | 93,5  | 257,2        | 282,7            | 91,0  |
| B3    | 220,2              | 235,6                 | 93,5  | 201,8        | 282,7            | 71,4  |
| B4    | 220,2              | 235,6                 | 93,5  | 200,8        | 282,7            | 71,0  |
| B5    | 220,2              | 235,6                 | 93,5  | 250,3        | 282,7            | 88,5  |
| B6    | 220,2              | 235,6                 | 93,5  | 250,7        | 282,7            | 88,7  |
| B7    | 220,2              | 235,6                 | 93,5  | 206,6        | 282,7            | 73,1  |
| B8    | 220,2              | 235,6                 | 93,5  | 209,9        | 282,7            | 74,2  |
| B9    | -                  | -                     | -     | 0            | 282,7            | 0,0   |
| B10   | -                  | -                     | -     | 0            | 282,7            | 0,0   |
| B11   | -                  | -                     | -     | 5,5          | 282,7            | 1,9   |
| B12   | -                  | -                     | -     | 6,3          | 282,7            | 2,2   |
| B13   | -                  | -                     | -     | 0            | 282,7            | 0,0   |
| B14   | -                  | -                     | -     | 0            | 282,7            | 0,0   |
| B15   | -                  | -                     | -     | 55,8         | 282,7            | 19,7  |
| B16   | -                  | -                     | -     | 54,8         | 282,7            | 19,4  |

**Tabla 1. Verificación Resistencia de tracción en el perno, por ambos métodos.**

**Fuente: Elaboración propia**

| Perno | Corte              |                       |       |              |                       |       |
|-------|--------------------|-----------------------|-------|--------------|-----------------------|-------|
|       | Método Tradicional |                       |       | CBFEM        |                       |       |
|       | Demanda (kN)       | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso | Demanda (kN) | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso |
| B1    | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 13,2         | 169,6                 | 7,8   |
| B2    | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 13,1         | 169,6                 | 7,7   |
| B3    | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 31,7         | 169,6                 | 18,7  |
| B4    | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 33,2         | 169,6                 | 19,6  |
| B5    | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 5,6          | 169,6                 | 3,3   |
| B6    | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 5,7          | 169,6                 | 3,4   |
| B7    | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 7,2          | 169,6                 | 4,2   |
| B8    | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 7,6          | 169,6                 | 4,5   |
| B9    | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 27,4         | 169,6                 | 16,2  |
| B10   | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 27,4         | 169,6                 | 16,2  |
| B11   | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 36,2         | 169,6                 | 21,3  |
| B12   | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 36,1         | 169,6                 | 21,3  |
| B13   | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 2,7          | 169,6                 | 1,6   |
| B14   | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 2,5          | 169,6                 | 1,5   |
| B15   | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 8,1          | 169,6                 | 4,8   |
| B16   | 11,1               | 141,4                 | 7,9   | 7,8          | 169,6                 | 4,6   |

**Tabla 2. Verificación Resistencia al corte en el perno, por ambos métodos.**  
Fuente: Elaboración propia

| Perno | Aplastamiento      |                       |       |              |                       |       |
|-------|--------------------|-----------------------|-------|--------------|-----------------------|-------|
|       | Método Tradicional |                       |       | CBFEM        |                       |       |
|       | Demanda (kN)       | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso | Demanda (kN) | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso |
| B1    | 11,1               | 442,4                 | -     | 13,2         | 500,4                 | -     |
| B2    | 11,1               | 442,4                 | -     | 13,1         | 500,4                 | -     |
| B3    | 11,1               | 442,4                 | -     | 31,7         | 191,4                 | -     |
| B4    | 11,1               | 442,4                 | -     | 33,2         | 191,1                 | -     |
| B5    | 11,1               | 442,4                 | -     | 5,6          | 500,4                 | -     |
| B6    | 11,1               | 442,4                 | -     | 5,7          | 500,4                 | -     |
| B7    | 11,1               | 442,4                 | -     | 7,2          | 500,4                 | -     |
| B8    | 11,1               | 442,4                 | -     | 7,6          | 500,4                 | -     |
| B9    | 11,1               | 442,4                 | -     | 27,4         | 500,4                 | -     |
| B10   | 11,1               | 442,4                 | -     | 27,4         | 500,4                 | -     |
| B11   | 11,1               | 442,4                 | -     | 36,2         | 500,4                 | -     |
| B12   | 11,1               | 442,4                 | -     | 36,1         | 500,4                 | -     |
| B13   | 11,1               | 442,4                 | -     | 2,7          | 454,7                 | -     |
| B14   | 11,1               | 442,4                 | -     | 2,5          | 451,8                 | -     |
| B15   | 11,1               | 442,4                 | -     | 8,1          | 500,4                 | -     |
| B16   | 11,1               | 442,4                 | -     | 7,8          | 500,4                 | -     |

**Tabla 3. Verificación Resistencia al aplastamiento, por ambos métodos.**  
Fuente: Elaboración propia

| Soldadura          |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
|--------------------|-------------|------|------|-------|----|-------|------|-------|-------|
| Método Tradicional |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| Ítem               | Borde       | Th   | Ls   | L     | Lc | Fn    | Θ    | φ*Rn  | Ut    |
| EP1                | M2-bfl 1    | -    | -    | -     | -  | -     |      | -     | -     |
| EP1                | M2-tfl 1    | -    | -    | -     | -  | -     |      | -     | -     |
| EP1                | M2-w 1      | 7    | 10   | 501   | -  | 178   | 0    | 761,6 | 23,4  |
|                    |             | 7    | 10   | 501   | -  | 178   | 0    | 761,6 | 23,4  |
| EP1                | WID1a       | -    | -    | -     | -  | -     |      | -     | -     |
| M2-tfl 1           | WID1a       | -    | -    | -     | -  | -     |      | -     | -     |
| EP1                | WID1b       | -    | -    | -     | -  | -     |      | -     | -     |
| M2-bfl 1           | WID1b       | -    | -    | -     | -  | -     |      | -     | -     |
| M1-bfl 1           | RIGIDIZAR1a | 9,1  | 13   | 159,5 | -  | 291,4 | 90,0 | 472,8 | 61,6  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| M1-w 1             | SP 1a       | 9,1  | 13   | 320   | -  | 291,4 | 0,0  | 632,4 | 46,08 |
| M1-tfl 1           | RIGIDIZAR1a | 9,1  | 13   | 159,5 | -  | 291,4 | 90,0 | 472,8 | 61,6  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| M1-bfl 1           | RIGIDIZAR1b | 9,1  | 13   | 159,5 | -  | 291,4 | 90,0 | 472,8 | 61,6  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| M1-w 1             | SP 1a       | 9,1  | 13   | 320   | -  | 291,4 | 0,0  | 632,4 | 46,08 |
| M1-tfl 1           | RIGIDIZAR1b | 9,1  | 13   | 159,5 | -  | 291,4 | 90,0 | 472,8 | 61,6  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| M1-bfl 1           | RIGIDIZAR1c | 9,1  | 13   | 159,5 | -  | 291,4 | 90,0 | 472,8 | 61,6  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| M1-w 1             | SP 1b       | 9,1  | 13   | 320   | -  | 291,4 | 0,0  | 632,4 | 46,08 |
| M1-tfl 1           | RIGIDIZAR1c | 9,1  | 13   | 159,5 | -  | 291,4 | 90,0 | 472,8 | 61,6  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| M1-bfl 1           | RIGIDIZAR1d | 9,1  | 13   | 159,5 | -  | 291,4 | 90,0 | 472,8 | 61,6  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| M1-w 1             | SP 1b       | 9,1  | 13   | 320   | -  | 291,4 | 0,0  | 632,4 | 46,08 |
| M1-tfl 1           | RIGIDIZAR1d | 9,1  | 13   | 159,5 | -  | 291,4 | 90,0 | 472,8 | 61,6  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| M1-tfl 1           | SP 1a       | 12,6 | 17,8 | 834   | -  | 291,4 | 90,0 | 3423  | 8,51  |
| M1-bfl 1           | SP 1a       | 12,6 | 17,8 | 834   | -  | 291,4 | 90,0 | 3423  | 8,51  |
| M1-tfl 1           | SP 1b       | 12,6 | 17,8 | 834   | -  | 291,4 | 90,0 | 3423  | 8,51  |
| M1-bfl 1           | SP 1b       | 12,6 | 17,8 | 834   | -  | 291,4 | 90,0 | 3423  | 8,51  |
| SP 1a              | RIGIDIZAR1a | 9,1  | 13   | 320   | -  | 291,4 | 0,0  | 600,7 | 48,5  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| SP 1a              | RIGIDIZAR1c | 9,1  | 13   | 320   | -  | 291,4 | 0,0  | 600,7 | 48,5  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| SP 1b              | RIGIDIZAR1b | 9,1  | 13   | 320   | -  | 291,4 | 0,0  | 600,7 | 48,5  |
|                    |             |      |      |       |    |       |      |       |       |
| SP 1b              | RIGIDIZAR1d | 9,1  | 13   | 320   | -  | 291,4 | 0,0  | 600,7 | 48,5  |

**Tabla 4. Verificación Resistencia a la soldadura, método tradicional.**

**Fuente: Elaboración propia**

| Soldadura    |             |      |      |     |    |      |      |       |      |
|--------------|-------------|------|------|-----|----|------|------|-------|------|
| Método CBFEM |             |      |      |     |    |      |      |       |      |
| Ítem         | Borde       | Th   | Ls   | L   | Lc | Θ    | Fn   | φ*Rn  | Ut   |
| EP1          | M2-bfl 1    |      |      | -   |    |      |      |       |      |
| EP2          | M2-tfl 1    |      |      | -   |    |      |      |       |      |
| EP3          | M2-w 1      | 5,7  | 8    | 514 | 51 | 74,2 | 84,3 | 92,9  | 90,7 |
|              |             | 5,7  | 8    | 514 | 51 | 74,3 | 84,4 | 92,9  | 90,9 |
| EP1          | WID1a       | -    | -    | -   | -  | -    | -    | -     | -    |
| M2-tfl 1     | WID1a       | -    | -    | -   | -  | -    | -    | -     | -    |
| EP1          | WID1b       | -    | -    | -   | -  | -    | -    | -     | -    |
| M2-bfl 1     | WID1b       | -    | -    | -   | -  | -    | -    | -     | -    |
| M1-bfl 1     | RIGIDIZAR1a | 6,4  | 9    | 153 | 38 | 85,7 | 60   | 79,2  | 75,8 |
|              |             | 6,4  | 9    | 153 | 38 | 87,4 | 60,6 | 79,3  | 76,4 |
| M1-w 1       | SP 1a       | 13,3 | 18,8 | 320 | 46 | 81,7 | 65,8 | 197,1 | 33,4 |
| M1-tfl 1     | RIGIDIZAR1a | 6,4  | 9    | 154 | 38 | 50,5 | 21,7 | 70,9  | 30,6 |
|              |             | 6,4  | 9    | 154 | 38 | 25,6 | 24,4 | 60,5  | 40,3 |
| M1-bfl 1     | RIGIDIZAR1b | 6,4  | 9    | 153 | 38 | 87,4 | 60,7 | 79,3  | 76,5 |
|              |             | 6,4  | 9    | 153 | 38 | 84,4 | 60   | 79,2  | 75,8 |
| M1-w 1       | SP 1a       | 13,3 | 18,8 | 320 | 46 | 70,7 | 71,5 | 192,6 | 37,1 |
| M1-tfl 1     | RIGIDIZAR1b | 6,4  | 9    | 154 | 38 | 25,5 | 24,5 | 60,5  | 40,5 |
|              |             | 6,4  | 9    | 154 | 38 | 50,2 | 21,8 | 70,8  | 30,8 |
| M1-bfl 1     | RIGIDIZAR1c | 6,4  | 9    | 153 | 38 | 89,2 | 59,7 | 79,4  | 75,2 |
|              |             | 6,4  | 9    | 153 | 38 | 83,4 | 59,4 | 79,1  | 75,1 |
| M1-w 1       | SP 1b       | 13,3 | 18,8 | 320 | 46 | 81,8 | 65,9 | 197,1 | 33,4 |
| M1-tfl 1     | RIGIDIZAR1c | 6,4  | 9    | 154 | 38 | 17,6 | 22,8 | 57    | 40,0 |
|              |             | 6,4  | 9    | 154 | 38 | 38,4 | 21,5 | 65,9  | 32,6 |
| M1-bfl 1     | RIGIDIZAR1d | 6,4  | 9    | 153 | 38 | 83,1 | 59,4 | 79,1  | 75,1 |
|              |             | 6,4  | 9    | 153 | 38 | 88,3 | 59,7 | 79,3  | 75,3 |
| M1-w 1       | SP 1b       | 13,3 | 18,8 | 320 | 46 | 70,5 | 71,8 | 192,5 | 37,3 |
| M1-tfl 1     | RIGIDIZAR1d | 6,4  | 9    | 154 | 38 | 38,2 | 21,5 | 65,9  | 32,6 |
|              |             | 6,4  | 9    | 154 | 38 | 16,6 | 22,7 | 57    | 39,8 |
| M1-tfl 1     | SP 1a       | 5,7  | 8    | 832 | 46 | 2,4  | 47,7 | 57,1  | 83,5 |
| M1-bfl 1     | SP 1a       | 5,7  | 8    | 832 | 46 | 68,6 | 68,3 | 82,3  | 83,0 |
| M1-tfl 1     | SP 1b       | 5,7  | 8    | 832 | 46 | 2,5  | 47,7 | 57,1  | 83,5 |
| M1-bfl 1     | SP 1b       | 5,7  | 8    | 832 | 46 | 68,9 | 68,5 | 82,4  | 83,1 |
| SP 1a        | RIGIDIZAR1a | 6,4  | 9    | 306 | 38 | 20,8 | 40,8 | 58,3  | 70,0 |
|              |             | 6,4  | 9    | 306 | 38 | 37,6 | 38,7 | 65,3  | 59,3 |
| SP 1a        | RIGIDIZAR1c | 6,4  | 9    | 306 | 38 | 22,2 | 32,1 | 58,9  | 54,5 |
|              |             | 6,4  | 9    | 306 | 38 | 10,6 | 36,4 | 54,8  | 66,4 |
| SP 1b        | RIGIDIZAR1b | 6,4  | 9    | 306 | 38 | 39,3 | 39,5 | 66    | 59,8 |
|              |             | 6,4  | 9    | 306 | 38 | 21,9 | 41,4 | 58,7  | 70,5 |
| SP 1b        | RIGIDIZAR1d | 6,4  | 9    | 306 | 38 | 11,7 | 36,4 | 55,2  | 65,9 |
|              |             | 6,4  | 9    | 306 | 38 | 23,7 | 32   | 59,5  | 53,8 |

**Tabla 5. Verificación Resistencia a la soldadura, método CBFEM.**

**Fuente: Elaboración propia**

### E. Resultados conexión a corte

| Corte              |              |                  |       |              |                  |       |
|--------------------|--------------|------------------|-------|--------------|------------------|-------|
| Método Tradicional |              |                  |       | CBFEM        |                  |       |
| Perno              | Demanda (kN) | $\phi^*R_n$ (kN) | % Uso | Demanda (kN) | $\phi^*R_n$ (kN) | % Uso |
| B1                 | 46,5         | 56,1             | 82,8  | 46,3         | 56,1             | 82,5  |
| B2                 | 46,5         | 56,1             | 82,8  | 46,8         | 56,1             | 83,5  |
| B3                 | 46,5         | 56,1             | 82,8  | 46,6         | 56,1             | 83,1  |

**Tabla 6. Verificación Resistencia al corte, por ambos métodos.**

**Fuente: Elaboración propia**

| Aplastamiento      |              |                  |       |              |                  |       |
|--------------------|--------------|------------------|-------|--------------|------------------|-------|
| Método Tradicional |              |                  |       | CBFEM        |                  |       |
| Perno              | Demanda (kN) | $\phi^*R_n$ (kN) | % Uso | Demanda (kN) | $\phi^*R_n$ (kN) | % Uso |
| B1                 | 46,5         | 61,6             | -     | 46,3         | 60,5             | -     |
| B2                 | 46,5         | 61,6             | -     | 46,8         | 60,5             | -     |
| B3                 | 46,5         | 61,6             | -     | 46,6         | 60,5             | -     |

**Tabla 7. Verificación Resistencia al aplastamiento, por ambos métodos.**

**Fuente: Elaboración propia**

| Soldadura          |       |    |    |     |    |       |          |             |      |
|--------------------|-------|----|----|-----|----|-------|----------|-------------|------|
| Método Tradicional |       |    |    |     |    |       |          |             |      |
| Ítem               | Borde | Th | Ls | L   | Lc | Fn    | $\Theta$ | $\phi^*R_n$ | Ut   |
| M1-bfl 1           | FP1   | 10 | 7  | 160 | -  | 139,5 | 0        | 243,23      | 57,4 |
|                    |       | 10 | 7  | 160 | -  | 139,5 | 0        | 243,23      | 57,4 |

**Tabla 8. Verificación Resistencia de la soldadura, método tradicional.**

**Fuente: Elaboración propia**

| Soldadura    |       |    |     |     |    |      |          |             |      |
|--------------|-------|----|-----|-----|----|------|----------|-------------|------|
| Método CBFEM |       |    |     |     |    |      |          |             |      |
| Ítem         | Borde | Th | Ls  | L   | Lc | Fn   | $\Theta$ | $\phi^*R_n$ | Ut   |
| M1-bfl 1     | FP1   | 5  | 7,1 | 159 | 10 | 12,5 | 83,8     | 16,2        | 77,2 |
|              |       | 5  | 7,1 | 159 | 10 | 12,4 | 80,8     | 16,1        | 77,0 |

**Tabla 9. Verificación Resistencia de la soldadura, método CBFEM.**

**Fuente: Elaboración propia**

## F. Resultados conexión de empalme.

### En alma

| Perno | Corte              |                       |       |              |                       |       |
|-------|--------------------|-----------------------|-------|--------------|-----------------------|-------|
|       | Método Tradicional |                       |       | CBFEM        |                       |       |
|       | Demanda (kN)       | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso | Demanda (kN) | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso |
| B1    | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 108,2        | 108,2                 | 100,0 |
| B2    | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 90,2         | 108,2                 | 83,4  |
| B3    | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 99,2         | 108,2                 | 91,7  |
| B4    | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 87,1         | 108,2                 | 80,5  |
| B5    | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 108,2        | 108,2                 | 100,0 |
| B6    | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 38,4         | 108,2                 | 35,5  |
| B7    | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 99,2         | 108,2                 | 91,7  |
| B8    | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 87,1         | 108,2                 | 80,5  |
| B9    | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 108,2        | 108,2                 | 100,0 |
| B10   | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 90,1         | 108,2                 | 83,3  |
| B11   | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 108,2        | 108,2                 | 100,0 |
| B12   | 38,3               | 108,3                 | 35,4  | 38,4         | 108,2                 | 35,5  |

**Tabla 10. Verificación Resistencia al corte en el alma, por ambos métodos.**

**Fuente: Elaboración propia**

| Perno | Aplastamiento      |                       |       |              |                       |       |
|-------|--------------------|-----------------------|-------|--------------|-----------------------|-------|
|       | Método Tradicional |                       |       | CBFEM        |                       |       |
|       | Demanda (kN)       | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso | Demanda (kN) | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso |
| B1    | 76,65              | 133,1                 | -     | 99,2         | 134,5                 | -     |
| B2    | 76,65              | 133,1                 | -     | 87,1         | 134,5                 | -     |
| B3    | 76,65              | 133,1                 | -     | 108,2        | 134,5                 | -     |
| B4    | 76,65              | 133,1                 | -     | 90,1         | 134,5                 | -     |
| B5    | 76,65              | 133,1                 | -     | 108,2        | 134,5                 | -     |
| B6    | 76,65              | 133,1                 | -     | 38,4         | 134,5                 | -     |

**Tabla 11. Verificación Resistencia al aplastamiento en el alma por ambos métodos.**

**Fuente: Elaboración propia**

**En alas**

| Perno | Corte              |                       |       |              |                       |       |
|-------|--------------------|-----------------------|-------|--------------|-----------------------|-------|
|       | Método Tradicional |                       |       | CBFEM        |                       |       |
|       | Demanda (kN)       | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso | Demanda (kN) | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso |
| B1    | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 108,1        | 108,2                 | 99,9  |
| B2    | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 108,1        | 108,2                 | 99,9  |
| B3    | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 96,3         | 108,2                 | 89,0  |
| B4    | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 108,1        | 108,2                 | 99,9  |
| B5    | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 108,1        | 108,2                 | 99,9  |
| B6    | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 96,6         | 108,2                 | 89,3  |
| B7    | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 108,1        | 108,2                 | 99,9  |
| B8    | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 108,1        | 108,2                 | 99,9  |
| B9    | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 96,3         | 108,2                 | 89,0  |
| B10   | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 108,1        | 108,2                 | 99,9  |
| B11   | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 108,1        | 108,2                 | 99,9  |
| B12   | 63,0               | 108,3                 | 58,2  | 96,6         | 108,2                 | 89,3  |

**Tabla 12. Verificación Resistencia al corte en alas, por ambos métodos.**

**Fuente: Elaboración propia**

| Perno | Aplastamiento      |                       |       |              |                       |       |
|-------|--------------------|-----------------------|-------|--------------|-----------------------|-------|
|       | Método Tradicional |                       |       | CBFEM        |                       |       |
|       | Demanda (kN)       | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso | Demanda (kN) | $\phi \cdot R_n$ (kN) | % Uso |
| B1    | 63                 | 130,8                 | -     | 108,1        | 130,3                 | -     |
| B2    | 63                 | 130,8                 | -     | 108,1        | 206,2                 | -     |
| B3    | 63                 | 130,8                 | -     | 96,3         | 206,2                 | -     |
| B4    | 63                 | 130,8                 | -     | 108,1        | 130,4                 | -     |
| B5    | 63                 | 130,8                 | -     | 108,1        | 206,2                 | -     |
| B6    | 63                 | 130,8                 | -     | 96,6         | 206,2                 | -     |

**Tabla 13. Verificación Resistencia al aplastamiento en alas, por ambos métodos.**

**Fuente: Elaboración propia**

# CONEXIÓN END PLATE

VIGA W21X55

$$d_b := 20.8 \text{ in}$$

$$t_{wb} := 0.375 \text{ in}$$

$$b_{fb} := 8.22 \text{ in}$$

$$t_{fb} := 0.522 \text{ in}$$

$$k_b := 1.02 \text{ in}$$

$$\text{Workable\_Gage\_b} := 5.5 \text{ in}$$

$$Z_{xb} := 126 \text{ in}^3$$

$$F_{yb} := 50 \text{ ksi} \quad (\text{ASTM A992 Acero})$$

$$F_{ub} := 65 \text{ ksi}$$

Pernos ASTM

Configuración de la Conexión 8ES

$$b_p := b_{fb} + 1 \text{ in} = 9.22 \text{ in}$$

$$b_p := 9 \text{ in}$$

$$g := 5.5 \text{ in}$$

$$p_{fi} := 1 \text{ in} + \frac{3}{4} \text{ in} = 1.75 \text{ in}$$

$$p_{fo} := 1 \text{ in} + \frac{3}{4} \text{ in} = 1.75 \text{ in}$$

$$p_b := 3 \text{ in}$$

$$d_e := 1 \text{ in} + \frac{1}{4} \text{ in} = 1.25 \text{ in}$$

$$F_{yp} := 50 \text{ ksi}$$

$$F_{up} := 65 \text{ ksi} \quad (\text{ASTM A572 Gr. 50})$$

$$F_t := 90 \text{ ksi} \quad (\text{ASTM A325 Pernos})$$

COLUMNA W14X109

$$d_c := 14.3 \text{ in}$$

$$t_{wc} := 0.525 \text{ in}$$

$$b_{fc} := 14.6 \text{ in}$$

$$t_{fc} := 0.860 \text{ in}$$

$$k_c := 1.46 \text{ in}$$

$$\text{Workable\_Gage\_c} := 5.5 \text{ in}$$

$$Z_{xc} := 447 \text{ in}^3$$

$$F_{yc} := 50 \text{ ksi} \quad (\text{ASTM A992})$$

$$F_{uc} := 65 \text{ ksi}$$

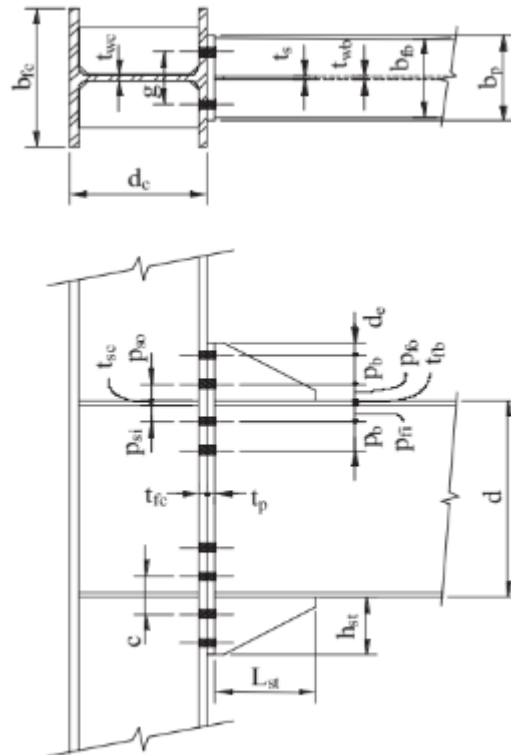


Fig. 3.3. Eight-bolt stiffened extended, 8ES, end plate geometry.



DISEÑO DE LA VIGA**1. Momento de Diseño de la Conexión**

$$R_y := 1.1 \quad F_y := 50 \text{ ksi} \quad Z_{xb} = 2065 \text{ cm}^3$$

$$M_{pe} := 1.1 \cdot R_y \cdot F_y \cdot Z_{xb}$$

$$M_{pe} = 7623 \text{ kip} \cdot \text{in}$$

Estimación de la Rótula Plástica

$$L_{st} := 10.4 \text{ in} \quad t_p := 0.875 \text{ in} \quad L_{st} \quad \text{Se define en el punto 10}$$

$$L_p := L_{st} + t_p \quad t_p \quad \text{Se define en el punto 6}$$

$$L_p = 0.286 \text{ m}$$

Usar  $L_p := 11.5 \text{ in}$

Momento en la Cara de la Columna (Momento de Diseño de la Conexión)

$$M_{pe} = 7623 \text{ kip} \cdot \text{in} \quad V_u := 40 \text{ kip}$$

$$M_{uc} := M_{pe} + V_u \cdot L_p$$

$$M_{uc} = 8083 \text{ kip} \cdot \text{in}$$

**2.- Selección de la Configuración de la Conexión: 8ES**

Datos Geométricos de Diseño Asumidos

$$b_p = 9 \text{ in} \quad g = 5.5 \text{ in} \quad p_{fi} = 1.75 \text{ in} \quad p_{fo} = 1.75 \text{ in} \quad p_b = 3 \text{ in}$$

$$d_e = 1.25 \text{ in} \quad F_{yp} = 50 \text{ ksi} \quad F_{up} = 65 \text{ ksi} \quad F_t = 90 \text{ ksi}$$

Usando Dimensiones Asumidas

$$h_1 = 25.29 \text{ in} \quad h_2 = 22.29 \text{ in} \quad h_3 = 18.27 \text{ in} \quad h_4 = 15.27 \text{ in}$$

### 3.- Determinación del Diámetro Requerido del Perno

$$M_{uc} = 8083 \text{ kip} \cdot \text{in} \quad \phi := 0.75 \quad F_t = 90 \text{ ksi}$$

$$d_{b\_Req'd} := \sqrt{\frac{2 \cdot M_{uc}}{\pi \cdot \phi \cdot F_t \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}}$$

$$d_{b\_Req'd} = 0.97 \text{ in}$$

### 4.- Seleccionar Perno de Prueba y Calcular el Momento de Apalancamiento

$$\text{Usar } d_b := 1 \text{ in} \quad \text{ASTM A325} \quad A_b := \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} = 0.785 \text{ in}^2 \quad \phi_{np} := 0.75$$

Resistencia a la Tensión del Perno

$$P_t := F_t \cdot A_b$$

$$P_t = 70.7 \text{ kip}$$

$$M_{np} := 2 \cdot P_t \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$$

$$M_{np} = 11467 \text{ kip} \cdot \text{in}$$

$$\phi_{np} \cdot M_{np} = 8600 \text{ kip} \cdot \text{in}$$

$$\left\| \begin{array}{l} \text{if } \phi_{np} \cdot M_{np} > M_{uc} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Cumple con Apalancamiento"} \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"Revisar"} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \text{"Cumple con Apalancamiento"}$$

### 5.- Determina el Espesor Requerido de la Placa Final

Parámetro Yield Line de la Placa Final

$$s := \frac{1}{2} \cdot \sqrt{b_p \cdot g} \quad p_{fi} = 1.75 \text{ in} \quad d_e = 1.25 \text{ in}$$

$$s = 3.518 \text{ in}$$

Se cumple que  $s > p_{fi}$

Ya que  $d_e < s$  Se usa el caso 1 de la Tabla 3.3 de la Guía de Diseño

$$Y_{p\_1} := \frac{b_p}{2} \cdot \left( h_1 \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot d_e} \right) + h_2 \cdot \left( \frac{1}{p_{fo}} \right) + h_3 \cdot \left( \frac{1}{p_{fi}} \right) + h_4 \cdot \left( \frac{1}{s} \right) \right)$$

$$Y_{p\_2} := \frac{2}{g} \cdot \left( h_1 \cdot \left( d_e + \frac{p_b}{4} \right) + h_2 \cdot \left( p_{fo} + \frac{3 \cdot p_b}{4} \right) + h_3 \cdot \left( p_{fi} + \frac{p_b}{4} \right) + h_4 \cdot \left( s + \frac{3 \cdot p_b}{4} \right) + p_b^2 \right) + g$$

$$Y_p := Y_{p\_1} + Y_{p\_2} \quad Y_p = 277.5 \text{ in}$$

Espesor Requerido de la Placa Final

$$\phi := 0.75 \quad M_{np} = 11467 \text{ kip} \cdot \text{in} \quad \phi_b := 0.9 \quad F_{yp} = 50 \text{ ksi} \quad Y_p = 277.55 \text{ in}$$

$$t_{p\_Req'd} := \sqrt{\frac{1.11 \cdot \phi \cdot M_{np}}{\phi_b \cdot F_{yp} \cdot Y_p}}$$

$$t_{p\_Req'd} = 0.874 \text{ in}$$

#### 6.- Espesor Seleccionado de la Placa Final

$$\text{Usar} \quad t_p := \frac{7}{8} \text{ in} \quad \text{Acero ASTM A572 Gr. 50}$$

10.- Determinar el Espesor del Rigidizador la Placa Final y su Longitud, además del Diseño de la Soldadura de Rigidizador

$$t_{wb} = 0.375 \text{ in} \quad F_{yb} = 50 \text{ ksi} \quad F_{ys} := 50 \text{ ksi}$$

$$t_{s\_req'd} := t_{wb} \cdot \left( \frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right)$$

$$t_{s\_req'd} = 0.375 \text{ in}$$

$$h_{st} := p_{fo} + p_b + d_e = 6 \text{ in}$$

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

$$L_{st} = 10.4 \text{ in}$$

Verificar el Pandeo Local

$$h_{st}=6 \text{ in} \quad t_{st}:=0.375 \text{ in} \quad F_y=50 \text{ ksi} \quad E:=29000 \text{ ksi}$$

$$\frac{h_{st}}{t_{st}}=16 \quad 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}=13.487 \quad \text{Como } 16 > 13.4, \text{ El Requerimiento no Satisface}$$

Se Necesita  $t_{st}$  mayor o igual a  $0.448 \text{ in}$  Para satisfacer el Requerimiento de Pandeo Local

Usar Rigidizador de  $\frac{1}{2} \text{ in} \times 6 \text{ in} \times 10.5 \text{ in}$  ASTM A572 Gr. 50

Usar Soldadura CJP para desarrollar el Refuerzo en el ala de la Viga y en la Placa Final ya que el Espesor del Refuerzo es mayor que 3/8 de pulgada.

#### 11.- Verificación de la Resistencia a la Ruptura de Corte de los Pernos en Compresión

$$V_u=40 \text{ kip} \quad n_b:=8 \quad F_v:=48 \text{ ksi} \quad A_b=0.785 \text{ in}^2 \quad \phi:=0.75$$

$$R_n:=n_b \cdot F_v \cdot A_b$$

$$R_n=301.59 \text{ kip}$$

$$\phi \cdot R_n=226 \text{ kip}$$

Como  $V_u \leq \phi \cdot R_n$  Cumple

#### 12.- Verificación en Pernos en Compresión Bearing/Tearout

(i) Placa Final

$$V_u=40 \text{ kip} \quad \phi \cdot R_n = \sum \phi \cdot R_n \quad n_i:=6 \quad n_o:=2 \quad F_u:=65 \text{ ksi}$$

Resistencia al Aplastamiento

$$R_a:=2.4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot F_u=136.5 \text{ kip} / \text{Perno}$$

Resistencia al Desgarramiento para 3 in de espacio

$$L_c:=3.0 \text{ in} - \left(1 + \frac{1}{16}\right) \text{ in} = 1.938 \text{ in}$$

$$R_{n\_inner} := 1.2 \cdot L_c \cdot t_p \cdot F_u$$

$$R_{n\_inner} = 132.234 \text{ kip}$$

$$R_a = 136.5 \text{ kip}$$

Por Inspección, El aplastamiento Controla para el espaciamiento de 4 in. y los pernos más internos.

$$\phi \cdot R_n = 4 \cdot (0.75 \cdot 132.6) + 4 \cdot (0.75 \cdot 136.5) = 807.3$$

$$807.3 \text{ kip} \text{ Es Mayor que } V_u = 40 \text{ kip} \quad \text{Cumple}$$

**NOTA:** Para la obtención de la Resistencia al aplastamiento, esta se calculó de acuerdo a como se utiliza en la práctica diaria de la ingeniera, es decir, se obtiene el valor que controla en la condición de dicho estado límite siendo éste valor la resistencia de la placa que está en contacto con los pernos solicitados a corte.

(ii) Ala de la Columna

$$t_{fc} := 0.860 \text{ in}$$

$$R_n := 807 \text{ kip} \cdot \left( \frac{0.860}{0.875} \right) = 793 \text{ kip} \quad \text{Mayor que } V_u = 40 \text{ kip} \quad \text{Cumple}$$

### 13.- Diseño de Soldaduras

(i) Las alas de la viga a la Placa Final

Usar soldadura CJP y el procedimiento de la figura 2.10 descrito en la Guía de Diseño N° 4

(ii) Alma de la viga a la Placa Final

El tamaño mínimo de soldadura de una placa final de 1 1/4 in. es 5/16 in. La soldadura requerida para desarrollar el esfuerzo de flexión en el alma de la viga en los alrededores de los pernos en tensión usando electrodos E70 es:

$$D := \frac{0.6 \cdot F_{yb} \cdot t_{wb}}{2 \cdot 1.392}$$

$$D := 4.04 \quad \text{Dieciseisavos}$$

Usar 5/16 in. Soldadura de filete

El corte aplicado debe resistirse mediante soldadura entre el mínimo de la profundidad media de la viga y la ala de compresión o la fila interna de pernos de tensión más dos diámetros de perno y la ala de compresión.

### DISEÑO DE LA COLUMNA

#### 14.- Verificación Ala de Columna no-Rigidizada para Fluencia por

$$s := \frac{1}{2} \cdot \sqrt{b_{fc} \cdot g}$$

$$s = 4.48 \text{ in}$$

$$c := p_{fo} + t_{fb} + p_{fi} = 4.022 \text{ in}$$

$$Y_{c1} := \frac{b_{fc}}{2} \cdot \left( h_1 \cdot \left( \frac{1}{s} \right) + h_4 \cdot \left( \frac{1}{s} \right) \right)$$

$$Y_{c2} := \frac{2}{g} \cdot \left( h_1 \cdot \left( p_b + \frac{c}{2} + s \right) + h_2 \cdot \left( \frac{p_b}{2} + \frac{c}{4} \right) + h_3 \cdot \left( \frac{p_b}{2} + \frac{c}{2} \right) + h_4 \cdot (s) \right) + \frac{g}{2}$$

$$Y_c := Y_{c1} + Y_{c2} = 224.6 \text{ in}$$

Espesor Requerido para el ala de la Columna no Rigidizada

$$\phi = 0.75 \quad M_{np} = 11467 \text{ kip} \cdot \text{in} \quad \phi_b = 0.9 \quad F_{yc} = 50 \text{ ksi} \quad Y_c = 224.6 \text{ in}$$

$$t_{fc\_Req'd} := \sqrt{\frac{1.11 \cdot \phi \cdot M_{np}}{\phi_b \cdot F_{yc} \cdot Y_c}}$$

$$t_{fc\_Req'd} = 0.972 \text{ in} \quad \text{Como } 0.97 \text{ in.} > 0.860 \text{ in. Agregar Rigidizador al ala}$$

Asumir Rigidizador de 1/2 pulgada

$$t_s := \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$p_{si} := \frac{c - t_s}{2} = 1.76 \text{ in}$$

$$p_{so} := p_{si}$$

$$Y_{c1} := \frac{b_{fc}}{2} \cdot \left( h_1 \cdot \left( \frac{1}{s} \right) + h_2 \cdot \left( \frac{1}{p_{so}} \right) + h_3 \cdot \left( \frac{1}{p_{si}} \right) + h_4 \cdot \left( \frac{1}{s} \right) \right)$$

$$Y_{c_2} := \frac{2}{g} \cdot \left( h_1 \cdot \left( s + \frac{p_b}{4} \right) + h_2 \cdot \left( p_{so} + \frac{3 \cdot p_b}{4} \right) + h_3 \cdot \left( p_{si} + \frac{p_b}{4} \right) + h_4 \cdot \left( s + \frac{3 \cdot p_b}{4} \right) + p_b^2 \right) + g$$

$$Y_c := Y_{c_1} + Y_{c_2} = 377.6 \text{ in}$$

Determinar el Espesor Reducido del ala de la Columna

$$\phi = 0.75 \quad M_{np} = 11467 \text{ kip} \cdot \text{in} \quad \phi_b = 0.9 \quad F_{yc} = 50 \text{ ksi} \quad Y_c = 377.6 \text{ in}$$

$$t_{fc\_Req'd} := \sqrt{\frac{1.11 \cdot \phi \cdot M_{np}}{\phi_b \cdot F_{yc} \cdot Y_c}}$$

$$t_{fc\_Req'd} = 0.75 \text{ in} \quad \text{Como } t_{fc\_Req'd} = 0.75 \text{ in} \quad \text{Es menor que } t_{fc} = 0.86 \text{ in}$$

Cumple con Rigidizador de Columna

#### 7.- Cálculo de la Fuerza Factorada en ala de la Viga

$$M_{uc} = 8083 \text{ kip} \cdot \text{in} \quad d_b := 20.8 \text{ in} \quad t_{fb} = 0.522 \text{ in}$$

$$F_{fu} := \frac{M_{uc}}{d_b - t_{fb}} \quad F_{fu} = 399 \text{ kip}$$

#### 15.- Cálculo de la Resistencia de ala de Columna no Rigidizada para Determinar la Fuerza de Diseño del Rigidizador

$$F_{yc} = 50 \text{ ksi} \quad Y_c := 224.6 \text{ in} \quad t_{fc} = 0.86 \text{ in} \quad \phi_b = 0.9$$

$$M_{cf} := F_{yc} \cdot Y_c \cdot t_{fc}^2$$

$$\phi_b \cdot M_{cf} = 7475 \text{ kip} \cdot \text{in}$$

$$R_n := \frac{\phi_b \cdot M_{cf}}{d_b - t_{fb}} = 369 \text{ kip} \quad R_n = 369 \text{ kip} \quad \text{Es menor que } F_{fu} = 399 \text{ kip}$$

### 16.- Cálculo de la Resistencia al Pandeo Local por fluencia

$C_t := 1$  Suponga que no está en la parte superior de la columna

$$\phi := 1$$

$$N := t_{fb} + 0 = 0.522 \text{ in}$$

$$R_n := C_t \cdot (6 \cdot k_c + N + 2 \cdot t_p) \cdot F_{yc} \cdot t_{wc}$$

$$\phi \cdot R_n = 290 \text{ kip} \quad \text{Como } F_{fu} = 399 \text{ kip} \quad \text{Es mayor que } \phi \cdot R_n = 290 \text{ kip}$$

Rigidizadores en la Columna es Requerido

### 17.- Cálculo de la Resistencia a Pandeo del Alma

$$h := 284 \text{ mm} \quad t_{wc} := 0.525 \text{ in} \quad \phi := 0.9 \quad E = 29000 \text{ ksi} \quad F_{yc} = 50 \text{ ksi}$$

$$h := \left( \frac{h}{t_{wc}} \right) \cdot t_{wc} = 11.18 \text{ in}$$

$$h := 11.39 \text{ in}$$

$$R_n := \frac{\phi \cdot 24 \cdot t_{wc}^3 \cdot \sqrt{E \cdot F_{yc}}}{h} = 330 \text{ kip}$$

$$\text{Como } F_{fu} = 399 \text{ kip} \quad \text{Es mayor que } R_n = 330 \text{ kip}$$

Refuerzos de columna son necesarios

### 18.- Cálculo de la Resistencia al Crippling

$$\phi := 0.75 \quad t_{wc} = 0.525 \text{ in} \quad N = 0.522 \text{ in} \quad d_c = 14.3 \text{ in} \quad t_{fc} = 0.86 \text{ in}$$

$$E = 29000 \text{ ksi} \quad F_{yc} = 50 \text{ ksi}$$

$$R_n := 0.80 \cdot t_{wc}^2 \cdot \left( 1 + 3 \cdot \left( \frac{N}{d_c} \right) \cdot \left( \frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right) \cdot \sqrt{\frac{E \cdot F_{yc} \cdot t_{fc}}{t_{wc}}}$$

$$\phi \cdot R_n = 268 \text{ kip} \quad \text{Como } F_{fu} = 399 \text{ kip} \quad \text{Es mayor que } \phi \cdot R_n = 268 \text{ kip}$$

Refuerzos de columna son necesarios

### 19.- Determinar la Fuerza de Diseño del Rigidizador

$$F_{cu} = F_{fu} - \min(\phi \cdot R_n)$$

$$F_{cu} := 399 \text{ kip} - \min(369 \text{ kip}, 290 \text{ kip}, 330 \text{ kip}, 268 \text{ kip})$$

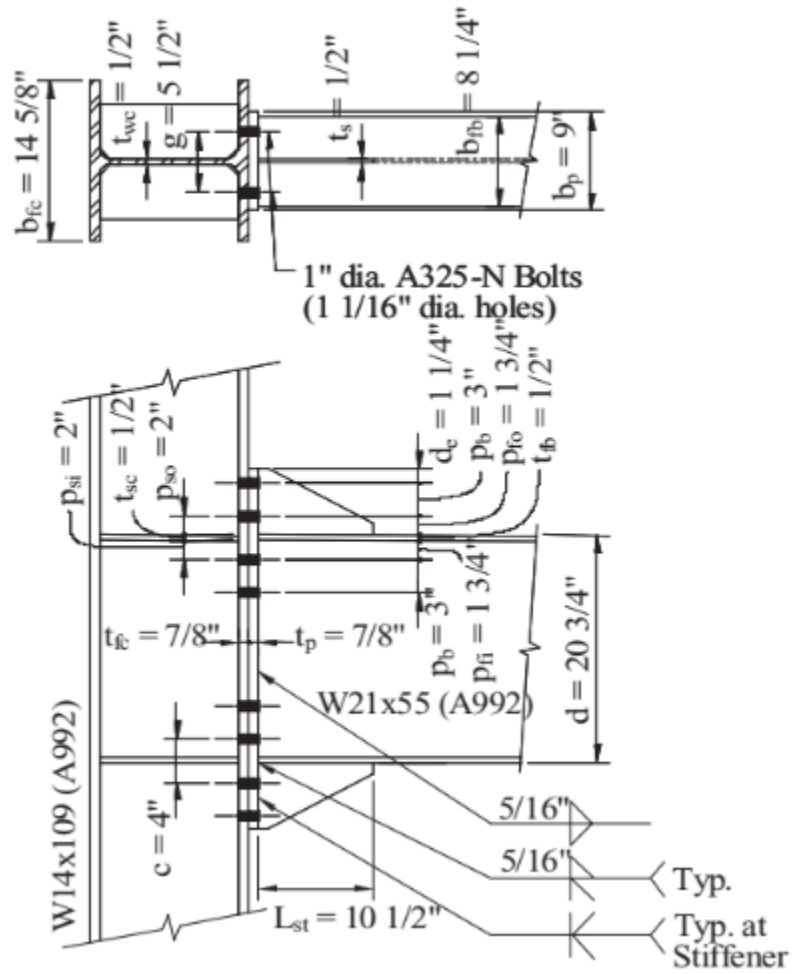
$$F_{cu} = 131 \text{ kip}$$

### 20.- Diseño del Rigidizador y Verificación de la Zona

Consultar la Guía de Diseño AISC 13, Refuerzo de columna de ala ancha en las conexiones de momento: aplicaciones de viento y sísmica (Carter, 2002) y las Disposiciones sísmicas de AISC para edificios de acero estructural para conocer los requisitos y procedimientos de diseño.

#### Resumen de la Conexión:

|                                   |                                                                                               |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Viga                              | W21x55 (ASTM                                                                                  |
| Columna                           | W14x109 (ASTM A992)                                                                           |
| Placa Final 8ES                   | 7/8 in. por 9 in. con ala de viga de 1/2 in. al Rigidizador de placa final (ASTM A572 Gr. 50) |
| Diámetro de Perno                 | 1 in.                                                                                         |
| Grado del Perno                   | ASTM A325                                                                                     |
| La columna Requiere Rigidizadores |                                                                                               |



## VERIFICACIÓN DE SOLDADURA

### CONEXIÓN END-PLATE

Soldadura entre placa final y alas de viga

La tabla de especificaciones AISC J2.5 identifica cuatro condiciones de carga que pueden estar asociadas con soldaduras de ranura y muestra que la resistencia de la unión está controlada por el metal base o que las cargas no necesitan ser consideradas en el diseño de las soldaduras que conectan las partes. En consecuencia, cuando se realizan soldaduras de ranura de penetración de unión completa (CJP) con metal de relleno de resistencia coincidente, la fuerza de una conexión está gobernada o controlada por el, se requiere metal base y no se verifica la resistencia de la soldadura.

En el caso de la soldadura de filete para la resistencia del metal base es gobernado por capítulo J4 del AISC 360-10

#### Resistencia de soldadura de filete doble en el alma de la viga y placa final

##### 1.- Longitud de la garganta de soldadura

$e_{min} := 10 \text{ mm}$  (Espesor de alma de viga es menor al de la placa)

$$a := 0.7 \cdot e_{min} = 7 \text{ mm}$$

##### 2.- Tamaño de soldadura

$$a := 7 \text{ mm}$$

$$w := \frac{a}{\cos(45^\circ)} = 9.9 \text{ mm}$$

Se aproxima a 10 mm

##### 3. Resistencia de la soldadura

$$l := 501 \text{ mm} \quad a := 7 \text{ mm}$$

$$F_{exx} := 482.6 \text{ MPa} \quad \phi := 0.75$$

$$A_{we} := a \cdot l = 3507 \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} := 0.6 \cdot F_{exx} = 289.56 \text{ MPa}$$

En este caso el ángulo  $0^\circ$  ya que se considera la carga ( $V_n$ ) paralela al eje de soldadura

$$R_n := F_{nw} \cdot A_{we} = 1015.487 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 761.6 \text{ kN}$$

Asumiendo que el alma transfiere la carga de corte

## Resistencia de soldadura de filete doble en Rigidizadores de la zona panel

Rigidizador (soldadura en contacto con las alas de la columna)

Solicitación:  $F_{cv} := 582.72 \text{ kN}$  Fcv a un lado del alma de la columna:  $\frac{F_{cv}}{2} = 291.36 \text{ kN}$

## 1. Longitud de garganta de soldadura

$e_{min} := 13 \text{ mm}$  Espesor de Rigidizador

$a := 0.7 \cdot e_{min} = 9.1 \text{ mm}$

Tamaño de soldadura

$a := 9.1 \text{ mm}$

$w := \frac{a}{\cos(45^\circ)} = 12.869 \text{ mm}$

## 2. Resistencia de la soldadura

$l := 159.5 \text{ mm}$   $a := 9.1 \text{ mm}$   $F_{exx} := 482.6 \text{ MPa}$   $\phi := 0.75$

$A_{we} := a \cdot l = (1.451 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$

$F_{nw} := 0.6 \cdot F_{exx} \cdot 1.5 = 434.34 \text{ MPa}$

$R_n := F_{nw} \cdot A_{we} = 630.423 \text{ kN}$

$\phi \cdot R_n = 472.817 \text{ kN}$

En este caso se considera que la carga llega a 90° respecto al eje de la soldadura en donde hay un incremento de resistencia de un 50% más que una carga paralela al eje.

**SI CUMPLE** Solicitación es igual a Fcv/2 ya que las placas de continuidad se encuentran a ambos lados del alma de la columna.

## Rigidizador (Soldadura en contacto con la placa rigidizadora)

Solicitación igual que en el caso anterior

## 1. Longitud de garganta de soldadura

$e_{min} := 13 \text{ mm}$  Espesor de Rigidizador

$a := 0.7 \cdot e_{min} = 9.1 \text{ mm}$

Tamaño de soldadura

$$a := 9.1 \text{ mm}$$

$$w := \frac{a}{\cos(45^\circ)} = 12.869 \text{ mm}$$

## 2. Resistencia de la soldadura

$$l := 320 \text{ mm} - 16 \text{ mm} = 304 \text{ mm} \quad a := 9.1 \text{ mm} \quad F_{exx} := 482.6 \text{ MPa}$$

$$\phi := 0.75$$

$$A_{we} := a \cdot l = (2.766 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} := 0.6 \cdot F_{exx} = 289.56 \text{ MPa}$$

En este caso se asume la carga paralela al eje de soldadura es decir ángulo de carga igual a  $0^\circ$

$$R_n := F_{nw} \cdot A_{we} = 801.039 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 600.779 \text{ kN}$$

Solicitación es igual a  $F_{cv}/2$  ya que las placas de continuidad se encuentran a ambos lados del alma de la columna

SI CUMPLE

## Resistencia de soldadura de filete en placa rigidizadora de la zona panel

Soldadura con respecto al alma de la columna.

### 1. Longitud de garganta de soldadura

$$e_{min} := 13 \text{ mm}$$

Espesor de alma de columna

$$a := 0.7 \cdot e_{min} = 9.1 \text{ mm}$$

Tamaño de soldadura

$$a := 9.1 \text{ mm}$$

$$w := \frac{a}{\cos(45^\circ)} = 12.869 \text{ mm}$$

## 2. Resistencia de la soldadura

$$l := 320 \text{ mm} \quad a := 9.1 \text{ mm} \quad F_{exx} := 482.6 \text{ MPa} \quad \phi := 0.75$$

$$A_{we} := a \cdot l = (2.912 \cdot 10^3) \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} := 0.6 \cdot F_{exx} = 289.56 \text{ MPa}$$

$$R_n := F_{nw} \cdot A_{we} = 843.199 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 632.399 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

Solicitud es igual a  $F_{cv}/2$  ya que las placas de continuidad se encuentran a ambos lados del alma de la columna

Soldadura con respecto al ala de la columna

1. Longitud de garganta de soldadura

$$e_{min} := 18 \text{ mm} \quad \text{Espesor de la placa rigidizadora}$$

$$a := 0.7 \cdot e_{min} = 12.6 \text{ mm}$$

Tamaño de soldadura

$$a := 12.6 \text{ mm}$$

$$w := \frac{a}{\cos(45^\circ)} = 17.819 \text{ mm}$$

2. Resistencia de la soldadura

$$l := 834 \text{ mm} \quad a := 12.6 \text{ mm} \quad F_{exx} := 482.6 \text{ MPa} \quad \phi := 0.75$$

$$A_{we} := a \cdot l = (1.051 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} := 0.6 \cdot F_{exx} \cdot 1.5 = 434.34 \text{ MPa}$$

$$R_n := F_{nw} \cdot A_{we} = (4.564 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = (3.423 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

En este caso se considera que la carga llega a  $90^\circ$  respecto al eje de la soldadura en donde hay un incremento de resistencia de un 50% más que una carga paralela al eje.

SI CUMPLE

## VERIFICACIÓN DE CONEXIÓN A CORTE

Datos: Viga IN 20x30.6

Columna HEA200

### 1. Cálculo de corte nominal en la viga (G2-1 AISC 360-10)

$$F_y := 3515 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 344.704 \text{ MPa} \quad \Phi := 0.9 \quad A_w := 20 \text{ cm} \cdot 0.5 \text{ cm} = 10 \text{ cm}^2$$

$$C_v := 1$$

$$V_n := 0.6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v = 206.822 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot V_n = 186.14 \text{ kN}$$

En el caso de la conexión a corte se utiliza como sollicitación el 75% de la carga de corte nominal.

$$0.75 \cdot \Phi \cdot V_n = 139.605 \text{ kN}$$

### 2. Resistencia al corte de pernos

$$d := 16 \text{ mm} \quad F_{nv} := 372 \text{ MPa} \quad \Phi := 0.75 \quad V_n := 139.605 \text{ kN}$$

$$A_b := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$R_n := A_b \cdot F_{nv} = 74.8 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot R_n = 56.1 \text{ kN}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de pernos: } \frac{V_n}{\Phi \cdot R_n} = 2.49 \quad \text{Se utilizarán 3 pernos}$$

### 3. Bloque de corte del alma de la viga

$$A_{gv} := 740 \text{ mm}^2 \quad A_{nv} := 521.7 \text{ mm}^2 \quad A_{nt} := 181.35 \text{ mm}^2 \quad U_{bs} := 1$$

$$F_u := 45.7 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} = 448.164 \text{ MPa} \quad F_y := 35.15 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} = 344.704 \text{ MPa} \quad \Phi := 0.75$$

$$R_n := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 221.559 \text{ kN}$$

$$R_{nlim} := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 234.323 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot R_n = 166.169 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$$

#### 4. Resistencia al aplastamiento en el alma de la viga

$$L_c := 30.54 \text{ mm} \quad t := 5 \text{ mm} \quad d := 16 \text{ mm} \quad F_u := 448.2 \text{ MPa} \quad \Phi := 0.75$$

$$R_{ndesgarro} := 1.2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u = 82.128 \text{ kN}$$

$$R_{naplastamiento} := 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u = 86.054 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot R_{ndesgarro} = 61.596 \text{ kN}$$

Son tres pernos entonces:  $\Phi \cdot R_{ndesgarro} \cdot 3 = 184.788 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$

En este caso controla el desgarro en el alma de la viga, debido al aplastamiento generado por los pernos.

#### 5. Resistencia a la fluencia en corte de la placa y alma de la viga:

Placa

$$\Phi := 1 \quad A_{gv} := 1600 \text{ mm}^2 \quad F_y := 344.7 \text{ MPa}$$

$$\Phi R_n := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} = 330.912 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$$

Viga

$$A_{gv} := 1000 \text{ mm}^2 \quad F_y := 344.7 \text{ MPa}$$

$$\Phi R_n := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} = 206.82 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$$

## 6. Capacidad de ruptura en corte de la placa y la viga

Placa

$$\Phi := 0.75 \quad A_{nv} := 1076.2 \text{ mm}^2 \quad F_u := 448.2 \text{ MPa}$$

$$R_n := 0.6 \cdot A_{nv} \cdot F_u = 289.41 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot R_n = 217.06 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$$

Viga

$$\Phi := 0.75 \quad A_{nv} := (200 \text{ mm} - 3 \cdot 17.46 \text{ mm}) \cdot 5 \text{ mm} = 738.1 \text{ mm}^2$$

$$R_n := 0.6 \cdot A_{nv} \cdot F_u = 198.49 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot R_n = 148.87 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$$

## 7. Resistencia al bloque de corte en placa

$$A_{gv} := 1280 \text{ mm}^2 \quad A_{nv} := 843.5 \text{ mm}^2 \quad A_{nt} := 275.4 \text{ mm}^2 \quad U_{bs} := 1$$

$$F_u := 448.2 \text{ MPa} \quad F_y := 344.7 \text{ MPa} \quad \Phi := 0.75$$

$$R_n := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 350.27 \text{ kN}$$

$$R_{n\text{limite}} := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 388.16 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot R_n = 262.701 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$$

## 8. Resistencia al aplastamiento en placa

$$L_c := 23.27 \text{ mm} \quad t := 10 \text{ mm} \quad d := 16 \text{ mm} \quad F_u := 448.2 \text{ MPa} \quad \Phi := 0.75$$

$$R_{ndesgarro} := 1.2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_u = 125.16 \text{ kN}$$

$$R_{naplastamiento} := 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u = 172.11 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot R_{ndesgarro} = 93.867 \text{ kN}$$

Son tres pernos entonces:  $\Phi \cdot R_{ndesgarro} \cdot 3 = 281.6 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$

En este caso controla el desgarro en el alma de la placa, debido al aplastamiento generado por los pernos.

### 9. Resistencia de la soldadura

$$e_{min} := 10 \text{ mm}$$

$$a := 0.7 \cdot e_{min} = 7 \text{ mm} \quad l := 160 \text{ mm} \quad F_{exx} := 482.6 \text{ MPa} \quad \phi := 0.75$$

$$A_{we} := a \cdot l = 1120 \text{ mm}^2$$

$$F_{nw} := 0.6 \cdot F_{exx} = 289.56 \text{ MPa}$$

En este caso el ángulo  $0^\circ$  ya que se considera la carga ( $V_n$ ) paralela al eje de soldadura

$$R_n := F_{nw} \cdot A_{we} = 324.31 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 243.23 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$$

## VERIFICACIÓN DE EMPALME

## A. Conexión de corte del alma

1. Determinar número de pernos respecto a  $V_n$ . (Capacidad al corte de los pernos)

$$\phi := 0.9 \quad V_n := 511 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot V_n = 459.9 \text{ kN}$$

$$\phi V_n := 459.9 \text{ kN}$$

$$d := 22.23 \text{ mm} \quad \phi := 0.75 \quad F_v := 372 \text{ MPa}$$

$$A_g := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 388.1 \text{ mm}^2$$

$$R_n := A_g \cdot F_v = 144.4 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 108.3 \text{ kN}$$

$$\text{Número de pernos: } \frac{\phi V_n}{\phi \cdot R_n} = 4.2$$

Se ocuparan 12 pernos, debido a que ya se probó con 6

## Capacidad a la tracción de los pernos

$$d := 22.23 \text{ mm} \quad \phi := 0.75 \quad F_v := 620 \text{ MPa}$$

$$A_g := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 388.12 \text{ mm}^2$$

$$R_n := A_g \cdot F_v = 240.64 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 180.48 \text{ kN}$$

La fuerza de tensión no determina el diseño, es por esto que los pernos se consideran solo al corte.

## 2. Capacidad de aplastamiento del alma

$$l_c := 63.2 \text{ mm} \quad t := 7.5 \text{ mm} \quad F_{u3} := 448.2 \text{ MPa} \quad d := 22 \text{ mm}$$

$$\phi := 0.75 \quad n := 6$$

El valor de  $L_c$  se obtiene desde el borde de la altura completa de la viga hasta el borde de la primera fila de pernos, ya que ese valor es menor al  $L_c$  que se toma desde la distancia entre pernos en este caso  $90-23.6$  es mayor a  $75-23.6/2$

$$R_{n3} := 1.2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_{u3} = 254.94 \text{ kN}$$

$$R_{\text{limite}3} := 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_{u3} = 177.49 \text{ kN}$$

$$R_n := 177.49 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 133.12 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n \cdot n = 798.71 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

## 3. Capacidad de aplastamiento de la placa de corte

$$l_c := 33.2 \text{ mm} \quad t := 14 \text{ mm} \quad F_u := 448.2 \text{ MPa} \quad d := 22 \text{ mm} \quad \phi := 0.75 \quad n := 6$$

$$R_n := 1.2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u = 249.99 \text{ kN}$$

$$R_{\text{limite}} := 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_u = 331.31 \text{ kN}$$

En este caso también se toma el  $L_c$  desde el borde de la placa hasta el borde de la primera fila de pernos ya que  $90-23.6$  es mayor a  $45-23.6/2$

$$R_n := 249.9 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 187.43 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n \cdot n = 1124.55 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

## 4. Fluencia al corte de la placa

$$F_y := 345 \text{ MPa} \quad A_{gv} := 3780 \text{ mm}^2 \quad \phi := 1$$

$$R_n := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} = 782.46 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 782.46 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

## Fluencia al corte del alma de la viga

$$F_y := 345 \text{ MPa} \quad A_{gv} := 330 \text{ mm} \cdot 7.5 \text{ mm} = 2475 \text{ mm}^2 \quad \phi := 1$$

$$R_n := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} = 512.33 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 512.33 \text{ kN}$$

## 5. Rotura en corte de la placa

$$\phi := 0.75 \quad F_u := 448.2 \text{ MPa} \quad A_{nv} := 2788.8 \text{ mm}^2$$

$$R_n := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 749.96 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 562.47 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

Rotura en corte del alma de la viga

$$\phi := .75 \quad F_u := 448.2 \text{ MPa}$$

$$A_{nv} := (330 \text{ mm} - 3 \cdot 23.6 (\text{mm})) \cdot 7.5 \text{ mm} = 1944 \text{ mm}^2$$

$$R_n := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 522.78 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 392.09 \text{ kN}$$

En este caso no cumple, y es lógico y aceptable para el caso en que la sollicitación que se está utilizando es el corte nominal de la viga (capacidad), es decir, si voy a verificar una resistencia con el área neta de la viga claramente no va a cumplir.

## 6. Bloque de corte en la placa

$$F_u := 448.2 \text{ MPa} \quad A_{gv} := 3150 \text{ mm}^2 \quad A_{nv} := 2324 \text{ mm}^2 \quad A_{nt} := 1464.4 \text{ mm}^2$$

$$F_y := 345 \text{ MPa} \quad \phi := 0.75 \quad U_{bs} := 1$$

$$R_{n1} := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 1281.31 \text{ kN}$$

$$R_{limite} := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 1308.39 \text{ kN}$$

$$R_n := 1281 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 960.75 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

Controla el menor

## 7. Bloque de corte en ala de la viga

$$F_u := 448.2 \text{ MPa} \quad A_{gv} := 1912.5 \text{ mm}^2 \quad A_{nv} := 1470 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} := 709.5 \text{ mm}^2 \quad U_{bs} := 1 \quad F_y := 345 \text{ MPa} \quad \phi := 0.75$$

$$R_{n1} := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 713.31 \text{ kN}$$

$$R_{\text{limite}} := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 713.89 \text{ kN}$$

$$R_n := 713. \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 534.75 \text{ kN} \quad \text{SI CUMPLE}$$

## B. Diseño de las placas de conexión de las alas

### 1. Número de pernos

$$d := 22.23 \text{ mm} \quad \phi := 0.75 \quad F_v := 372 \text{ MPa} \quad \text{Solicitud: } Ft := 755.76 \text{ kN}$$

$$A_g := \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 388.122 \text{ mm}^2$$

$$R_n := A_g \cdot F_v = 144.382 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 108.286 \text{ kN}$$

$$N := \frac{Ft}{\phi \cdot R_n} = 6.979 \quad \text{Se utilizaran 12 pernos}$$

## 2. Aplastamiento

En el ala de la viga

$$l_c := 28.2 \text{ mm} \quad F_{u3} := 448.2 \text{ MPa} \quad d := 22 \text{ mm} \quad t := 11.5 \text{ mm} \quad \phi := 0.75$$

$$n := 6 \quad \text{número de pernos}$$

$$R_{n3} := 1.2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_{u3} = 174.422 \text{ kN}$$

$$R_{\text{limite3}} := 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_{u3} = 272.147 \text{ kN}$$

$$R_n := 174.42 \text{ kN}$$

Controla el menor

$$\phi \cdot Rn = 130.815 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot Rn \cdot n = 784.89 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

### 3. Aplastamiento en la placa de conexión

$$l_c := 71.4 \text{ mm} \quad F_{u3} := 448.2 \text{ MPa} \quad d := 22 \text{ mm} \quad \phi := 0.75 \quad t := 22 \text{ mm} \quad n := 6$$

$$R_{n3} := 1.2 \cdot l_c \cdot t \cdot F_{u3} = 844.84 \text{ kN}$$

Controla el menor

$$R_{\text{limite}3} := 2.4 \cdot d \cdot t \cdot F_{u3} = 520.63 \text{ kN}$$

$$Rn := 520.6 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot Rn = 390.45 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot Rn \cdot n = 2342.7 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

### 4. Fluencia en tracción en la placa de conexión

$$F_{y51} := 345 \text{ MPa} \quad A_g := 3520 \text{ mm}^2 \quad \phi := 0.9$$

$$R_{n51} := F_{y51} \cdot A_g = 1214.4 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_{n51} = 1092.96 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

### 5. Rotura en tracción de la placa de conexión

$$F_{u5} := 448.2 \text{ MPa} \quad A_e := 2481.6 \text{ mm}^2 \quad \phi := 0.75 \quad A_e = A_n \leq 0.85 A_g$$

$$R_{n52} := F_{u5} \cdot A_e = 1112.25 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_{n52} = 834.19 \text{ kN}$$

SI CUMPLE

## 6. Bloque de corte en la placa

$$F_u := 448.2 \text{ MPa} \quad A_{gv} := 5280 \text{ mm}^2 \quad A_{nv} := 3982 \text{ mm}^2 \quad A_{nt} := 1971.2 \text{ mm}^2$$

$$F_y := 345 \text{ MPa} \quad U_{bs} := 1 \quad \phi := 0.75$$

$$R_{n1} := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 1954.33 \text{ kN}$$

$$R_{\text{limite}} := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 1976.45 \text{ kN}$$

$$R_n := 1954 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 1465.5 \text{ kN}$$

Controla el menor

SI CUMPLE

## 7. Bloque de corte en el ala de la viga

$$F_u := 448.2 \text{ MPa} \quad A_{gv} := 2760 \text{ mm}^2 \quad A_{nv} := 2081 \text{ mm}^2 \quad A_{nt} := 1030.4 \text{ mm}^2$$

$$F_y := 354 \text{ MPa} \quad U_{bs} := 1 \quad \phi := 0.75$$

$$R_{n1} := 0.6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 1021.45 \text{ kN}$$

$$R_{\text{limite}} := 0.6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 1048.05 \text{ kN}$$

$$R_n := 1021 \text{ kN}$$

$$\phi \cdot R_n = 765.75 \text{ kN}$$

Controla el menor

SI CUMPLE

