



SOFTWARE PARA DISEÑAR CONEXIONES PRECALIFICADAS SIMPSON STRONG-TIE STRONG FRAME EN PÓRTICOS DE ACERO RESISTENTES A MOMENTO SEGÚN CÓDIGO ANSI/AISC 358-16

SOFTWARE FOR DESIGNING PREQUALIFIED SIMPSON STRONG-TIE STRONG FRAME CONNECTIONS IN MOMENT RESISTING STEEL PORTAL FRAMES ACCORDING TO ANSI/AISC 358-16

Jesús María, Saldivia Manfredil¹; Gino, Pannillo²

Recibido 05/09/2023: Aprobado: 11/11/2023

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica251.4>

RESUMEN

En este trabajo se ha desarrollado un programa para el diseño de conexiones precalificadas tipo *Simpson Strong-Tie Strong Frame* de acuerdo a los requerimientos normativos *AISC*, y dentro de los límites de precalificación y procedimiento contemplados en la norma *ANSI/AISC 358-16*. Para desarrollar el programa se utilizó el software *MATLAB* en su versión R2014a, específicamente en su entorno *GUIDE* para el diseño de las interfaces gráficas y su respectiva programación. El programa, llamado *CONESTRONG* (CONExiones precalificadas Simpson STRONG-Tie STRONG Frame), facilita en gran medida el diseño de este tipo de conexión, debido a que realiza automáticamente la verificación del cumplimiento de los diferentes requisitos normativos orientando al usuario durante el proceso con varias sugerencias. El diseño obtenido con el programa fue comparado con el de un ejemplo desarrollado de manera manual, con resultados satisfactorios.

Palabras clave: *conexiones precalificadas; Simpson Strong-Tie Strong Frame; AISC; MATLAB; ANSI/AISC 358-16; CONESTRONG*

¹Jesús María, Saldivia Manfredil. Ingeniero Civil. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Correo: jesusmsm86@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7471-5929>

²Gino, Pannillo. Docente Investigador en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Venezuela. Ingeniero Civil. Magister en Mecánica Aplicada en la Construcción. Correo: gino.pannillo@ucla.edu.ve. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3539-0128>

ABSTRACT

In this work, a program has been developed for the design of prequalified Simpson Strong-Tie Strong Frame type connections in accordance with the AISC regulatory requirements and within the prequalification and procedure limits contemplated in the ANSI/AISC 358-16 standard. To develop the program, was used the MATLAB software in its R2014a version, specifically its GUIDE environment for the design of the graphical interfaces and their respective programming. The program called CONESTRONG (Simpson STRONG-Tie STRONG Frame Prequalified Connections), greatly facilitates the design of this type of connection, because it automatically verifies compliance with the various regulatory requirements and guides the user during the process with several suggestions. The results obtained with the program were compared with those of an example developed manually, with satisfactory results.

Keywords: *prequalified connections; Simpson Strong-Tie Strong Frame; AISC; MATLAB; ANSI/AISC 358-16; CONESTRONG*

1. INTRODUCCIÓN

El sismo de Northridge, California en 1994 [1], produjo numerosas fallas en las conexiones de las estructuras de acero en la zona afectada, causando fuerte preocupación, lo que implicó llevarse a cabo una investigación federal en Estados Unidos con la finalidad de encontrar las causas que originaron estas fallas y evitar que situaciones similares se presenten en el futuro. El resultado, es la proyección de nuevos criterios para el diseño de estructuras sismorresistentes en zonas de amenaza sísmica, siendo los códigos estadounidenses de ANSI/AISC los que recogen estas recomendaciones y sirven como fundamento en sus publicaciones desde el año 2005. El código ANSI/AISC 358-16 [2], guía el diseño de distintas conexiones precalificadas para estructuras de acero sismorresistentes, siendo una de ellas la *Simpson Strong-Tie Strong Frame*.

El procedimiento de diseño de este tipo de conexión es largo y complejo debido a la cantidad de requisitos normativos que deben cumplirse. Es por ello, que el trabajo presentado en este artículo, consistió en desarrollar un programa que permita diseñar conexiones precalificadas tipo *Simpson Strong-Tie Strong Frame* entre vigas y columnas de pórticos de acero resistentes a momento, conforme a los requerimientos del código ANSI/AISC 358-16 [2], utilizando el software MATLAB.

2. DESARROLLO

2.1. Conexiones Precalificadas

Actualmente para el diseño de estructuras de acero, el código AISC dentro de sus provisiones sísmicas, establece una serie de requisitos específicos para sistemas estructurales con capacidad moderada y especial de disipación de energía, dentro de los cuales se encuentran

estrictas exigencias para las conexiones de los miembros. Para evitar el costoso y difícil proceso de calificación, mediante el cual se garantice que las conexiones a utilizar en un proyecto cumplen con los requisitos de AISC 341 [3], y ha sido sometida a pruebas experimentales, la norma permite la utilización de las conexiones precalificadas del código AISC 358 [2]. En su más reciente publicación del año 2016, el código AISC 358 considera las siguientes conexiones precalificadas:

- Sección de viga reducida (RBS)
- Plancha extrema extendida apernada sin rigidizadores (BUEEP)
- Plancha extrema extendida apernada con rigidizadores (BSEEP)
- Plancha de ala apernada (BFP)
- Ala soldada sin refuerzo-alma soldada (WUF-W)
- Kaiser ménsula apernada (KBB)
- Conexión resistente a momento ConXtech ConXL (ConXL)
- Conexión resistente a momento SidePlate (SidePlate)
- Conexión resistente a momento Simpson Strong-Tie Strong Frame
- Conexión resistente a momento Doble-Tee

2.2. Conexión Resistente a Momento *Simpson Strong-Tie Strong Frame*

La conexión resistente a momento *Simpson Strong-Tie Strong Frame* es de tipo semirrígida que utiliza una conexión de cortante modificada mediante placa de cortante única, para transferencia de fuerza cortante y una conexión T-stub modificada el cual sería el fusible estructural *Yield-Link* para transferencia de momento, como se muestra en la Figura 1.

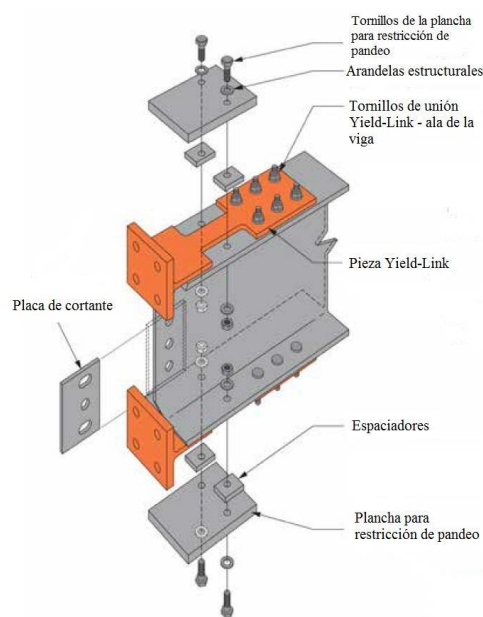


Figura 1. Vista tridimensional de la configuración de la conexión *Simpson Strong-Tie Strong Frame*. Fuente: [4].

Las conexiones de las piezas *T-stub* modificada, las cuales se unen mediante pernos a las alas de la viga y de la columna, están configuradas como uniones cedentes y contienen un área reducida de cedencia en su alma cuyo pandeo local a compresión se evita mediante la instalación de planchas para restricción de pandeo. La conexión está basada en el enfoque de diseño por capacidad, donde la respuesta de la conexión se mantiene dentro del rango elástico bajo la combinación de cargas factorizadas, y la demanda de rotación inelástica sísmica está confinada predominantemente dentro de la conexión, con poco o nulo comportamiento inelástico esperado en las vigas y columnas [4].

Procedimiento de diseño de la conexión Simpson Strong-Tie Strong Frame

- Paso 1. Elegir los perfiles para vigas y columnas de acuerdo con los límites de precalificación de la sección 12.3 del código AISC 358 asumiendo conexiones rígidas entre los miembros y considerando todas las combinaciones de carga especificadas por las normas de diseño aplicables. Estimar la deriva de entrepiso de diseño para el cumplimiento de los límites aplicables especificados por la norma de diseño como 1,2 veces más grande que el valor calculado al asumir conexiones rígidas
- Paso 2. Chequear la resistencia y deflexión de la viga asumiendo que esta se encuentra simplemente apoyada entre las conexiones de placa de cortante. Chequear la resistencia de la viga para las combinaciones de cargas verticales aplicables según la norma de diseño. Verificar que la deflexión de la viga bajo la acción de cargas permanentes y variables sea menor a $Lh/360$, donde Lh es la longitud de la viga entre los centros de los pernos de las placas de cortante a cada extremo de la viga
- Paso 3. Estimar la resistencia a la cedencia requerida de la pieza *Yield-Link* de acuerdo al Paso 1
- Paso 4. Determinar el ancho y largo de la sección no reducida de la pieza *Yield-Link* del lado de la columna
- Paso 5. Determinar el ancho del área de cedencia del alma de la pieza *Yield-Link*, b_{yield} , donde el espesor del alma de la pieza *Yield-Link*, t_{stem} , debe tomarse como 13mm.
- Paso 6. Determinar la longitud mínima del área de cedencia del alma de la pieza *Yield-Link*, L_{y-link} de tal manera que la deformación axial de la porción recta de la pieza sea menor o igual a 0,085mm/mm para 0,05 rad de rotación en la conexión
- Paso 7. Calcular la tensión cedente esperada y la tensión máxima probable de la pieza *Yield-Link*
- Paso 8. Determinar el ancho no reducido, $b_{bm-side}$, y longitud $L_{bm-side}$ del lado de la viga de la pieza *Yield-Link* utilizando el valor de P_{r-link} del Paso 7
- Paso 9. Diseñar la conexión entre el ala de la pieza *Yield-Link* y el ala de la columna utilizando el valor de P_{r-link} obtenido en el Paso 7

- Paso 10. Seleccionar la plancha para restricción de pandeo (BRP) de acuerdo a la sección 12.8.6 del código AISC 358
- Paso 11. Verificar la deriva elástica del pórtico y la demanda de momento de la conexión considerando la rigidez real de la conexión
- Paso 12. Determinar la resistencia a corte requerida, V_u , de la viga y de la conexión entre el alma de la viga y el ala de la columna
- Paso 13. Verificar los perfiles de viga y columna seleccionados en el Paso 1
- Paso 14. Chequear las limitaciones para la relación viga-columna de acuerdo a la sección 12.4 del código AISC 358
- Paso 15. Diseñar la conexión entre el alma de la viga y el ala de la columna para las siguientes resistencias requeridas
- Paso 16. Chequear la resistencia a corte en la zona panel de la columna de acuerdo al código AISC 360. La resistencia a corte requerida debe ser determinada a partir de la suma de las resistencias axiales máximas probables de la pieza *Yield-Link*. Las planchas adosadas al alma de la columna deben utilizarse de acuerdo a lo requerido
- Paso 17. Chequear el alma de la columna para fuerzas concentradas de Pr_{link} , de acuerdo al código AISC 360
- Paso 18. Chequear el espesor mínimo del ala de la columna para cedencia a la flexión
- Paso 19. Si las planchas de continuidad o rigidizadores son requeridos por alguno de los estados límites de la columna en los Pasos 17 y 18, la resistencia requerida, Fsu

3. METODOLOGÍA

El marco metodológico está orientado al diseño no experimental, se realizó siguiendo el procedimiento de desarrollo de las conexiones precalificadas *Simpson Strong-Tie Strong Frame*. Para la programación y desarrollo del algoritmo, se empleó el programa *MATLAB* (<https://www.mathworks.com/products/matlab-online.html>).

- Fase 1: estudio de *MATLAB*

Como paso inicial se estudiaron las opciones que ofrece el software en su lenguaje de programación, con la finalidad de adaptar el procedimiento de diseño de la conexión descrito en el código ANSI/AISC 358-16 [2] a los algoritmos que conformarían el programa de la manera más eficiente y sencilla posible. Igualmente se estudió el entorno *GUIDE* (Graphical User Interface Development Environment), herramienta disponible en *MATLAB*, para poder diseñar y crear la interfaz de usuario que permitirá el uso del programa.

- Fase 2: desarrollo de algoritmo

Se procedió a escribir los algoritmos que permitirán llevar a cabo el proceso de cálculo

necesario para el diseño de la conexión. Esta fase se ejecutó conjuntamente al proceso de diseño y creación de la interfaz de usuario, la cual debe programarse para que trabaje adecuadamente con los datos y comandos que ingrese el usuario al programa.

- Fase 3: validación de resultados

Para validar los resultados obtenidos con el programa creado se realizó el diseño de una conexión tipo *Simpson Strong-Tie Strong Frame* de manera manual. La diferencia porcentual entre los resultados obtenidos se calculó mediante la siguiente ecuación utilizada en distintas investigaciones [5], [6], [7] y [8]:

$$\text{Diferencia} = \left(\frac{\text{Resultados del programa}}{\text{Resultados del diseño manual}} - 1 \right) \times 100 \quad (1)$$

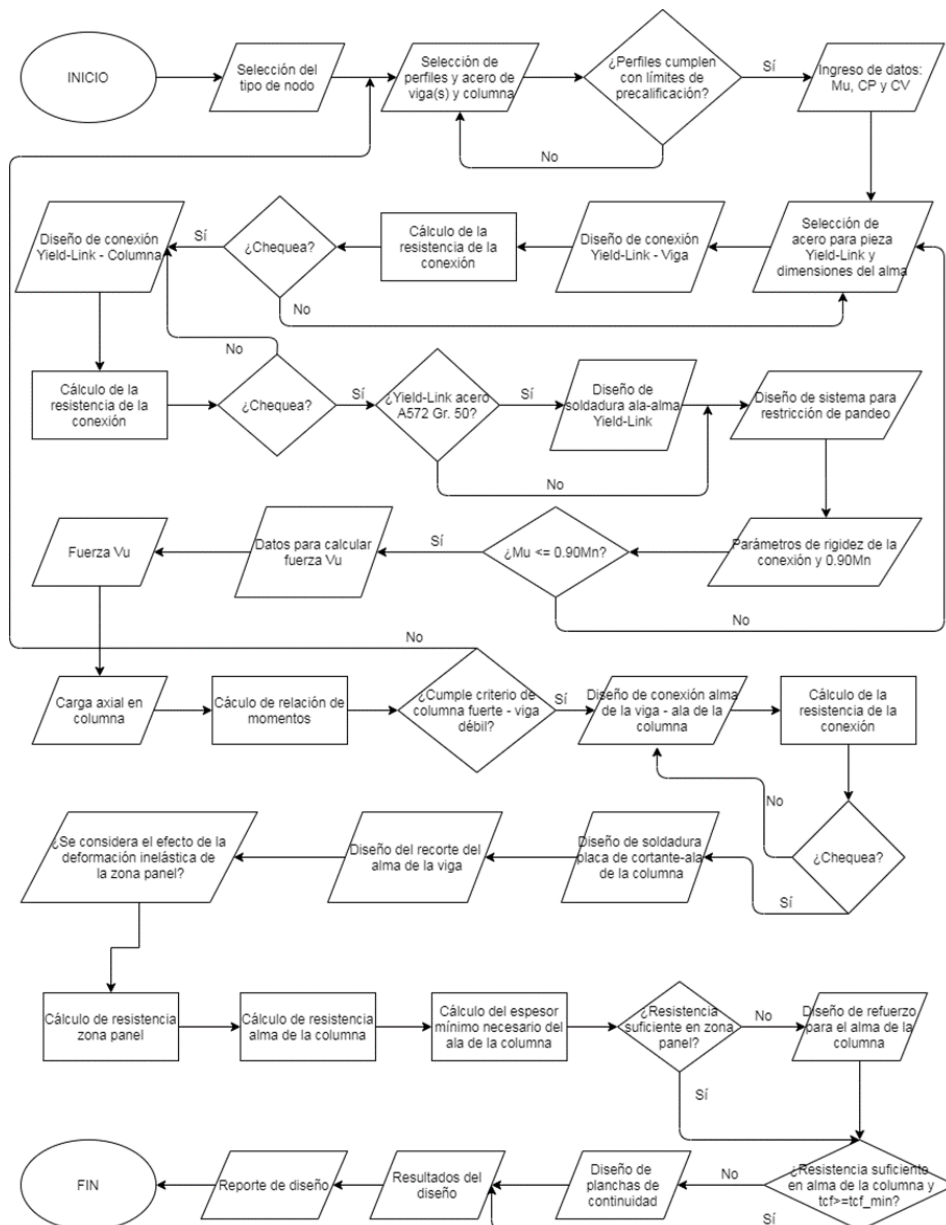


Figura 2. Diagrama general del funcionamiento del programa. Fuente: los autores

En la Figura 2 se muestra un diagrama general del funcionamiento del programa para el diseño de la conexión *Simpson Strong-Tie Strong Frame*.

4. RESULTADOS

El programa diseñado llamado CONESTRONG, guía al usuario durante el proceso de diseño de la conexión, suministrando información sobre las distintas limitaciones normativas y realizando los chequeos requeridos en cada una de las partes que la conforman. El software permite diseñar la conexión mediante el ingreso de los datos en las distintas interfaces y visualizar los resultados tanto gráficamente como a través de un reporte que muestra toda la información del diseño definitivo y los chequeos realizados durante el proceso.

Menú principal. Se encuentra disponible en todas las interfaces y consiste en los siguientes menús desplegables:

- Archivo: contiene las funciones básicas Nuevo, Abrir, Guardar, Guardar como y Salir
- Normas AISC 2016: permite al usuario consultar las normas AISC 341-16 (disposiciones sísmicas para edificios de acero estructural), AISC 358-16 (conexiones precalificadas para pórticos de acero resistentes a momento especiales e intermedios para aplicaciones sísmicas), y AISC 360-16 (especificación para edificios de acero estructural)
- Ayuda: ofrece opciones para visualizar el procedimiento de diseño paso a paso, muestra los cálculos detallados del procedimiento de diseño; mostrar información básica del programa; y para abrir el manual de usuario.

Interfaz gráfica. La primera interfaz (Figura 3), que se abre cuando se ejecuta el programa, contiene la imagen de presentación que muestra parte de una estructura unida mediante una conexión tipo *Simpson Strong-Tie Strong Frame* y el nombre del software.



Figura 3. Primera interfaz gráfica. Fuente: los autores

En la parte inferior derecha se encuentran los cuatro botones que permiten seleccionar el tipo

de nodo con el que se desea trabajar. Estas opciones son: Nodo de borde (último piso), Nodo de borde (piso intermedio), Nodo interno (último piso), Nodo interno (piso intermedio). Una vez seleccionado el tipo de nodo, se despliega la segunda interfaz (ver Figura 4), en la que se pueden ingresar los datos de los perfiles de viga y columna y sus respectivos materiales. Las opciones disponibles en los menús contienen solo los perfiles que cumplen con los límites de precalificación, es por esto que no se incluyen perfiles de viga con altura mayor a 420mm o espesor de ala menor a 10mm ni perfiles de columna con altura mayor a 476mm.

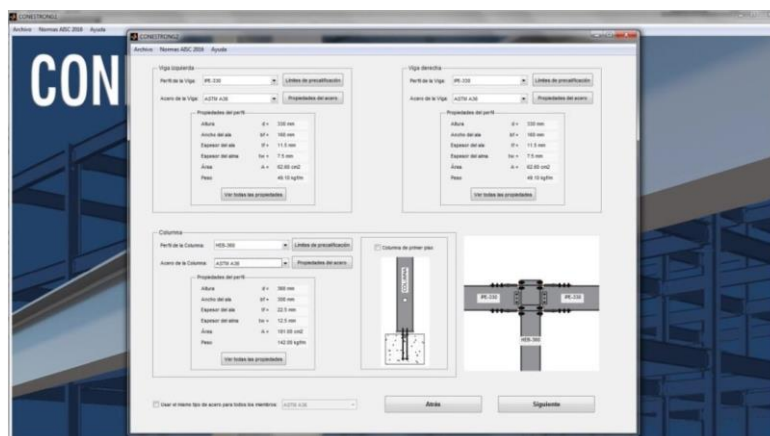


Figura 4. Segunda interfaz gráfica. Fuente: los autores

Seguidamente aparecen ventanas para trabajar con las vigas:

- Chequeo de los límites de precalificación
- Propiedades del acero
- Panel con propiedades del perfil seleccionado

El panel de la columna tiene las mismas características que el de las vigas, pero incluye una casilla que se debe seleccionar en caso de que se realice el diseño para una columna empotrada en la base con rotación limitada en sus extremos, con la finalidad de que el programa realice el chequeo de los límites de precalificación correspondientes.

En la tercera interfaz (ver Figura 5) se incluyen inicialmente las cajas de texto para ingresar los datos de M_u (momento de diseño de la conexión), CP y CV (carga permanente y carga variable actuando en la viga, respectivamente). Si el valor del momento ingresado es muy grande y los requisitos de las dimensiones de la pieza *Yield-Link* superan los máximos precalificados, el programa muestra un mensaje para informarlo. A la derecha se encuentra el panel que contiene todo lo referente al diseño de la pieza *Yield-Link*; es aquí donde inicialmente se puede seleccionar el material de la pieza y las distintas dimensiones del alma de ésta.

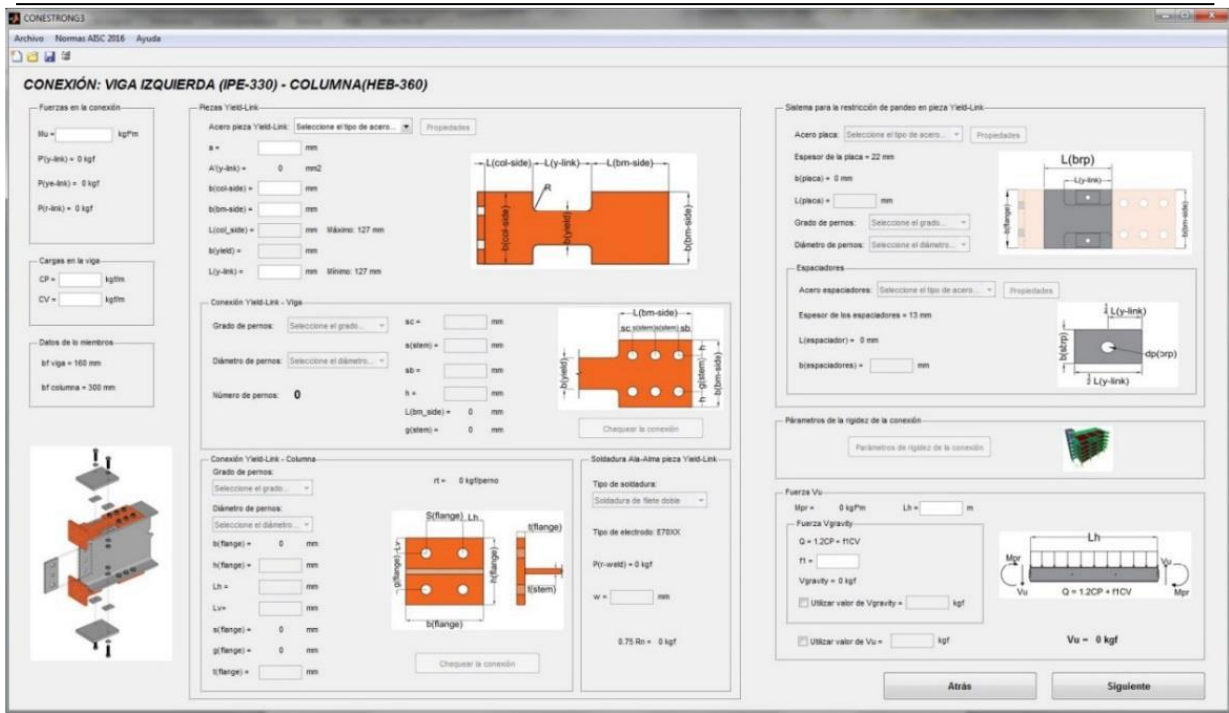


Figura 5. Tercera interfaz gráfica. Fuente: los autores

A medida que se van ingresando los datos, el programa calcula y muestra en la interfaz las fuerzas de diseño (ver Figura 6). La nomenclatura utilizada en el programa corresponde a la utilizada en el procedimiento de diseño de la sección 12.9 de la norma ANSI/AISC 358-16. Posteriormente aparece el diseño de la conexión (ver Figura 7).

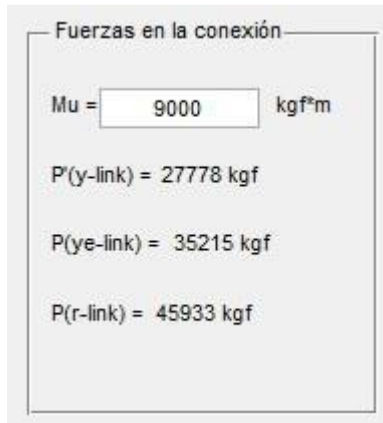


Figura 6. Fuerzas de diseño calculadas por el programa. Fuente: los autores

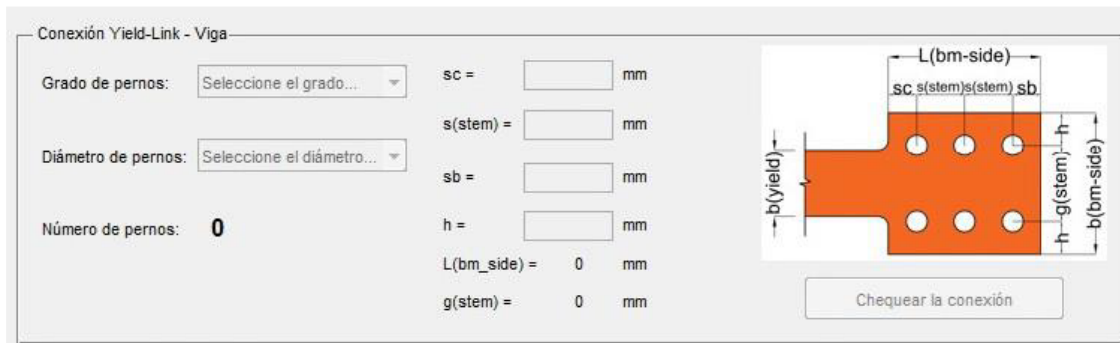


Figura 7. Fuerzas de diseño calculadas por el programa. Fuente: los autores

En la parte inferior derecha de este panel se encuentra el botón “Chequear la conexión”. Al hacer clic sobre éste, se abre una ventana auxiliar que muestra el chequeo de cada uno de los estados límite que se deben estudiar en esta parte de la conexión. Es necesario pulsar este botón para poder habilitar los componentes del panel inferior, esto para ayudar al usuario a ingresar los datos en el orden adecuado. Si la conexión no tiene la resistencia requerida para alguno de los casos de falla, se puede cerrar la interfaz auxiliar, modificar los datos ingresados según sea necesario y volver a pulsar el botón para revisar los nuevos valores calculados.

4.2. Ejemplo de Aplicación con Conexión Simpson Strong-Tie Strong Frame

Se inicia el diseño seleccionando la opción de nodo de borde en la primera interfaz para luego especificar los perfiles y materiales de los miembros. Se selecciona IPE-360 para la viga y HEB-400 para la columna, y acero ASTM A572 Grado 50 para los dos miembros, visualizado en la segunda interfaz (ver Figura 8).

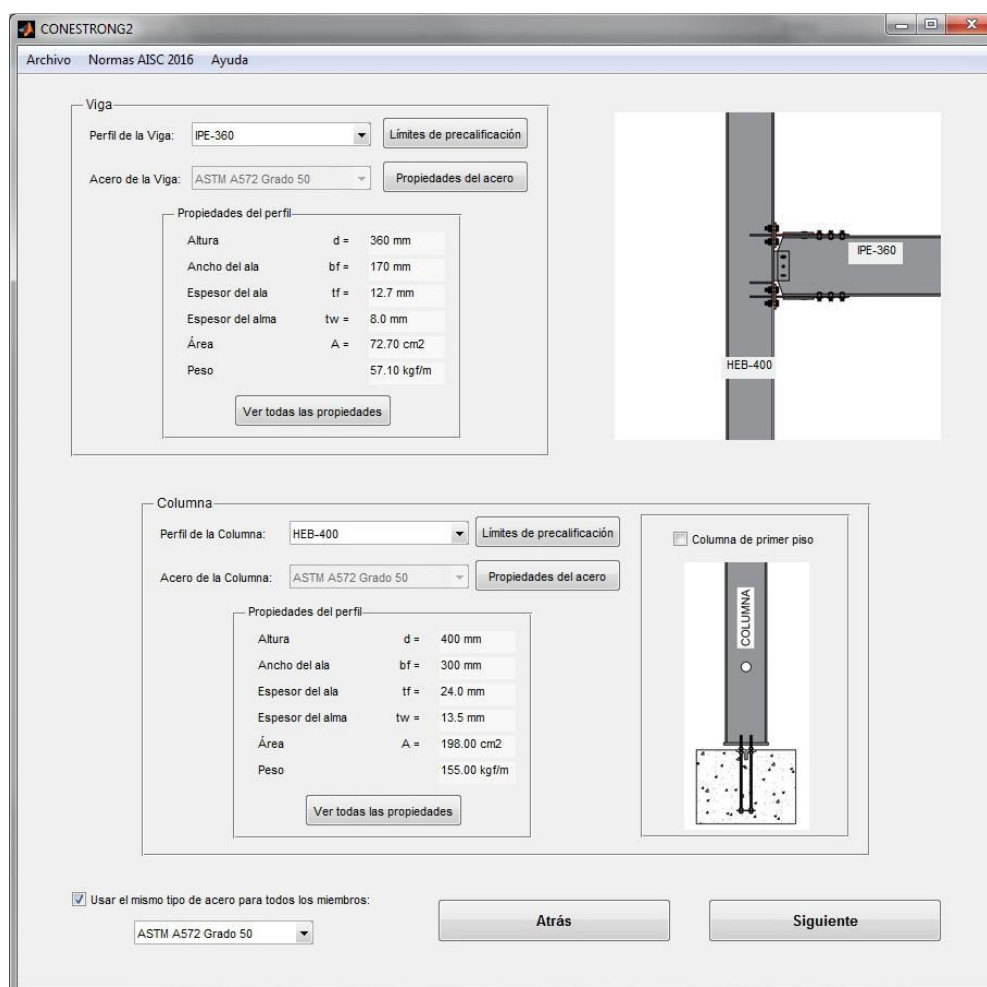


Figura 8. Ingreso de datos en la segunda interfaz. Fuente: los autores

En la tercera interfaz se introduce inicialmente el momento último de diseño de la conexión (M_u) y las cargas uniformemente distribuidas que actúan en la viga. Seguidamente se inicia el

diseño de la pieza *Yield-Link*. Se selecciona acero ASTM A572 Grado 50 para la pieza. Se continúa el diseño ingresando los valores para a , $b_{col-side}$, $b_{bm-side}$, $L_{col-side}$, b_{yield} y L_{y-link} (ver Figura 9).

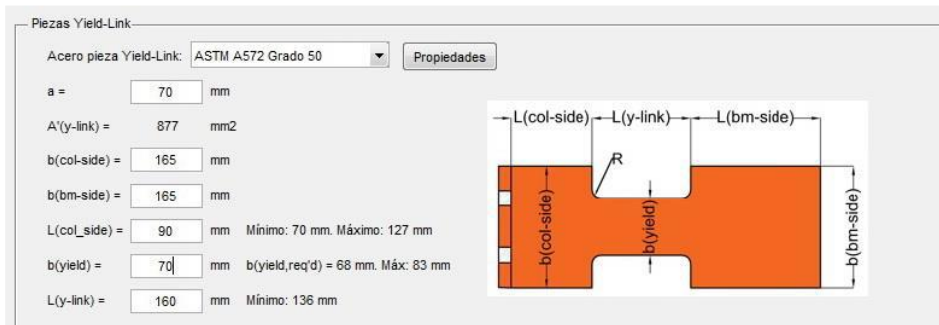


Figura 9. Ingreso de datos para diseñar la pieza *Yield-Link*. Fuente: los autores

Luego se diseña la conexión entre el alma de la pieza *Yield-Link* y el ala de la viga. Inicialmente se elige el grado de pernos y diámetro. El programa calcula automáticamente el número de pernos requeridos para soportar la fuerza axial. Seguidamente se ingresan los datos de sc , $sstem$, sb y h , y con esto el programa calcula y muestra los valores de $L_{bm-side}$ y $gstem$. Una vez ingresados todos los valores, se hace clic en el botón “Chequear la conexión” para verificar que el alma de la pieza *Yield-Link* y el ala de la viga tienen la resistencia suficiente para soportar la fuerza de diseño $Pr-link$. Se ve que todos los controles cumplen.

En este punto se comienza a diseñar la conexión entre el ala de la pieza *Yield-Link* y el ala de la columna. Se inicia con la selección del grado de pernos y el diámetro mayor al mínimo requerido para soportar la fuerza de diseño rt mostrado a la derecha del menú. Luego se ingresa la altura del ala de la pieza *Yield-Link* y las distancias al borde vertical y horizontal. A la derecha de cada casilla se especifica la distancia al borde mínima que se debe cumplir según el diámetro.

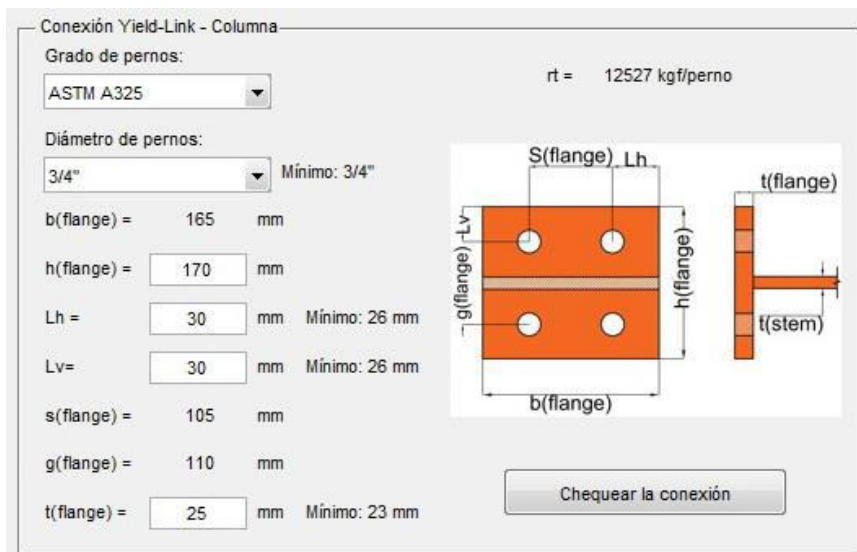


Figura 10. Diseño de la conexión entre el ala de la pieza *Yield-Link* y el ala de la columna. Fuente: los autores

Con todos los datos anteriores ingresados, el programa calcula y muestra el espesor mínimo que debe tener el ala de la pieza para evitar el efecto de apalancamiento. Se selecciona un espesor mayor al mínimo (ver Figura 10). Se hace clic en el botón “Chequear la conexión” para verificar que cuenta con la resistencia adecuada. Como el acero seleccionado para la pieza es ASTM A572 Grado 50, se debe diseñar la soldadura en el panel de la interfaz dispuesto para ello: “Soldadura Ala-Alma pieza Yield-Link”. Se selecciona soldadura de filete doble con un tamaño de 20mm. Seguidamente se diseña el sistema de restricción de pandeo que sirve para evitar tal efecto en el alma de la pieza *Yield-Link*. Se selecciona el mismo tipo de acero de la pieza para la plancha para restricción de pandeo, especificando la longitud de la placa, mayor al mínimo requerido que se muestra a la derecha. Luego se selecciona el grado y diámetro de pernos para la unión del sistema con el ala de la viga; finalmente se especifica el acero de los espaciadores y su ancho (ver Figura 11).

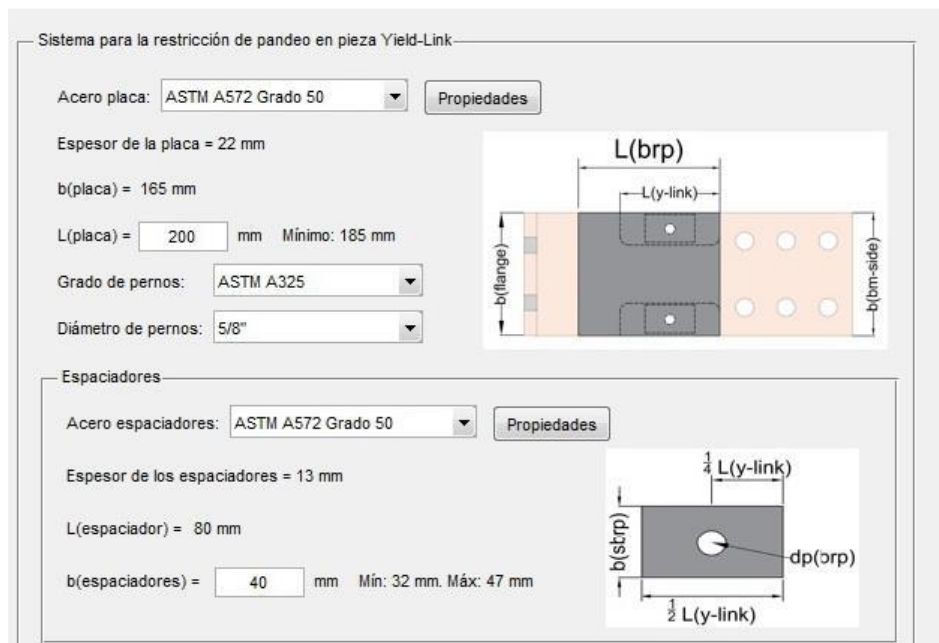


Figura 11. Diseño del sistema para restricción de pandeo. Fuente: los autores

Haciendo clic en el botón “Parámetros de rigidez de la conexión” se pueden visualizar la información para conocer la rigidez real de la conexión. En esta ventana auxiliar se muestra también el momento resistente de la conexión. Se verifica que éste es mayor o igual a M_u . Solo resta calcular la fuerza V_u antes de avanzar a la siguiente interfaz. Se ingresa el valor de la distancia entre las líneas de agujeros para pernos a ambos extremos de la viga $L_h = 6 - dc - 2a = 5,46m$. Se introduce un valor de 1,6 para el factor que multiplica a la carga variable para calcular la carga Q . El programa calcula automáticamente V_u y muestra el valor. Se hace clic en “Siguiente” para avanzar a la siguiente interfaz (ver Figura 12).

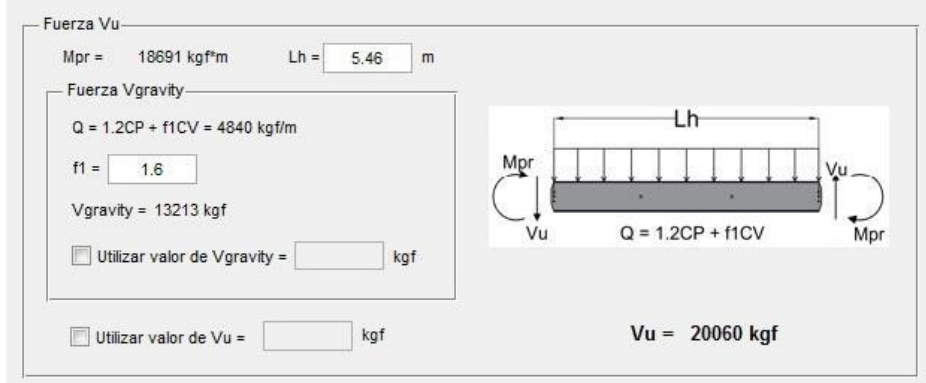


Figura 12. Cálculo de fuerza Vu. Fuente: los autores

En la cuarta interfaz lo primero que se debe hacer es ingresar el valor de la carga axial en la columna, para realizar el chequeo de “Columna fuerte – Viga débil”. Se ingresa el valor y se ve que la conexión cumple con lo requerido en la norma AISC 341-16. Se puede continuar con el diseño de la conexión entre el alma de la viga y el ala de la columna. Luego se despliega una nueva ventana “Placa de cortante” donde se ingresa la fuerza axial de la viga en la conexión $Pu-sp$ y se pueden visualizar el resto de las solicitaciones en esta parte de la conexión.

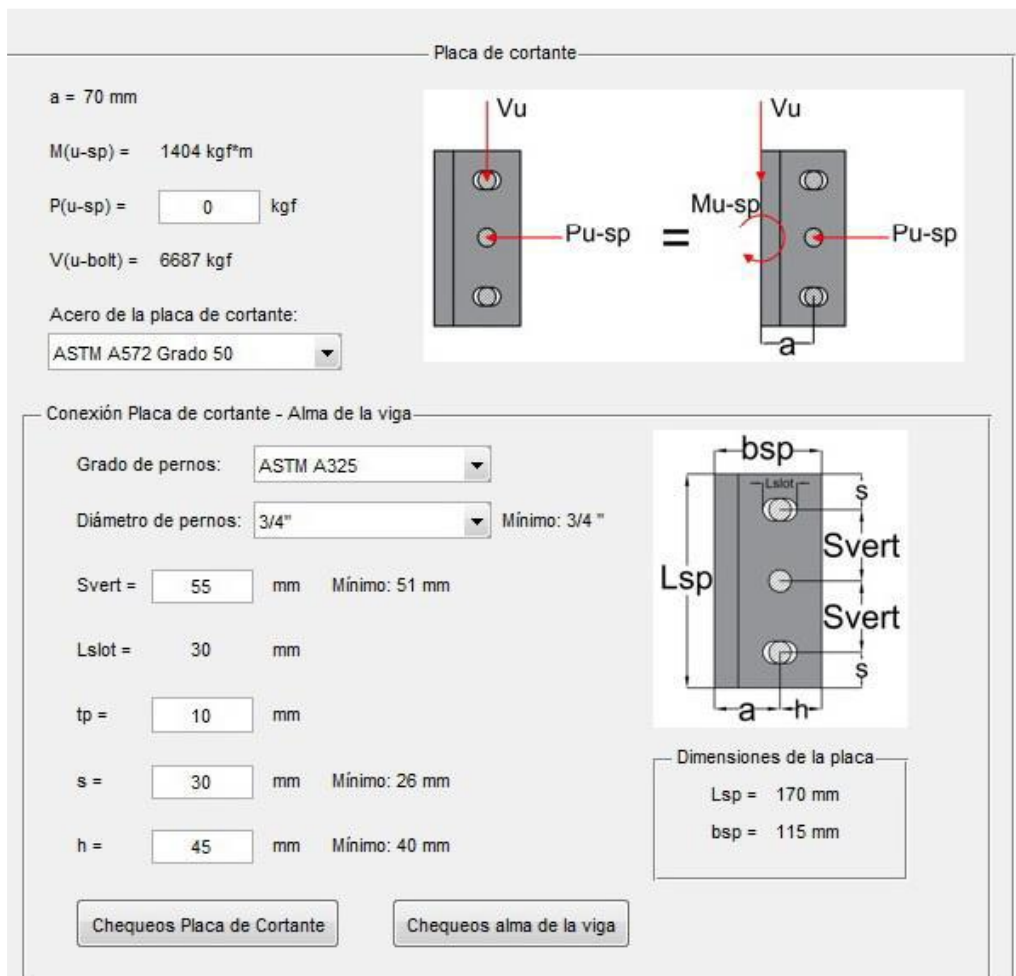


Figura 13. Diseño de la placa de cortante para conexión con el alma de la viga. Fuente: los autores

Se selecciona el mismo tipo de acero ASTM A572 Grado 50, el grado de pernos y su diámetro. Aquí también el programa muestra el mínimo diámetro requerido para soportar la fuerza de diseño, en este caso la fuerza cortante V_u -bolt. Se ingresa el valor de s_{vert} y el programa calcula el tamaño de la ranura horizontal para los pernos superior e inferior de la placa. Se finaliza el diseño de esta parte de la conexión especificando el espesor de la placa y las distancias al borde vertical y horizontal (ver Figura 13). Con todos los datos anteriores suministrados, se habilitan los botones “Chequeos Placa de cortante” y “Chequeos alma de la viga”. Se hace clic en cada uno de ellos para visualizar las resistencias de la conexión para cada uno de los estados límite que se deben estudiar para cumplir con lo requerido en el procedimiento de diseño de la norma AISC 358-16.

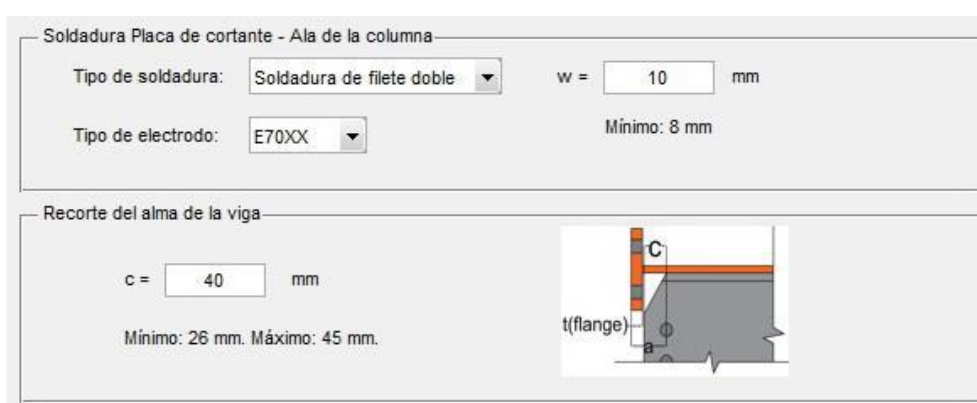


Figura 14. Diseño de soldadura para unión de la placa con el ala de la columna y diseño del recorte en el alma de la viga. Fuente: los autores

Como la conexión tiene la resistencia necesaria, se continúa con el diseño de la soldadura entre la placa y el ala de la columna. Se selecciona soldadura de filete doble con un electrodo E70XX y un tamaño de la soldadura de 10mm. Finalmente se ingresa en la parte inferior del panel el valor “c” que corresponde al diseño del recorte del alma de la viga (ver Figura 14).

Luego se despliega una nueva ventana en la que se tiene en el panel de la derecha “Chequeos en la columna”, se puede visualizar la resistencia de la columna ante cada uno de los casos de falla. El menú “pop-up” en el panel “Fluencia por cortante en la zona panel” se encuentra por defecto en la opción “No”, no se modifica la elección. Se ve que en todos los estados límite la resistencia es mayor a la fuerza $Pr-link$ y que el espesor del ala de la columna es mayor al mínimo requerido. No es necesario diseñar un refuerzo. Con todos los valores ingresados se hace clic en el botón “Resultados” para avanzar a la siguiente interfaz y ver la configuración final de la conexión diseñada. Se observa en esta interfaz cada una de las dimensiones de la pieza *Yield-Link* que fueron ingresadas en las interfaces anteriores, así como los datos de cada una de las partes de la conexión (ver Figura 15).



Figura 15. Resultados finales del diseño. Fuente: los autores

4.3. Cálculo para la Validación Manual

Con la finalidad de verificar la información suministrada por el programa se procedió a realizar el diseño de una conexión tipo *Simpson Strong-Tie Strong frame* de manera manual, para luego comparar los resultados con del diseño realizado con el software. Se proyectó una conexión con las siguientes características:

- Tipo de nodo: nodo de borde
- $M_u = 10.000 \text{ kgf}\cdot\text{m}$ (98,07 kN*m)
- $C_P = 2.700 \text{ kgf}/\text{m}$ (26,48 kN/m)
- $C_V = 1.000 \text{ kgf}/\text{m}$ (9,80 kN/m)
- Carga axial en columna inferior: 150.000 kgf (1471 kN)
- Carga axial en columna superior: 135.000 kgf (1324 kN)
- Distancia entre centros de las columnas: 6 m

1. Geometría y materiales de miembros

Tipo de nodo	nodo de borde	
Perfil viga	IPE-360	Acero: ASTM A572 Grado 50
Perfil columna	HEB-400	Acero: ASTM A572 Grado 50
Propiedades del perfil de la viga (mm)		
d	360mm	
bf	170mm	
tf	12,7mm	
tw	8,0mm	
Propiedades del perfil de la columna (mm)		
d	400mm	
bf	300mm	
tf	24mm	
tw	13,5mm	

2. Estimación de la resistencia a la cedencia requerida

Propiedades de la pieza	
Acero	ASTM A572 Grado 50

$Fy-link$	3.515 kgf/cm^2	(344,70 MPa)
$Fu-link$	4.570 kgf/cm^2	(448,16 MPa)
Ry	1,1	
Rt	1,2	
$tstem$	13 mm	Espesor del alma
R	13 mm	Radio de corte en la sección reducida
Cálculo de la resistencia y área requerida		
Mu	10.000 $kgf*m$	(98,07 kN*m) Dato de entrada
$\phi b = Mu / (\phi b * d)$	0,90	AISC 360 H1.1
$P'y-link$	30.864 $kgf*m$	(302,7 kN*m) AISC 358 Ec. 12.9-1
$A'y-link = P'y-link / Fy-link$	878 mm^2	AISC 358 Ec. 12.9-2

3. Selección del ancho y largo de la sección no reducida de la pieza del lado de la columna

Selección de los anchos no reducidos del alma de la pieza <i>Yield-Link</i> (mm)		
$\min(bbf, bcf)$	170mm	
$bcol-side$	165mm	
Selección de largo no reducido del alma de la pieza <i>Yield-Link</i> del lado de la columna (mm)		
a	70mm	
$tflange$	25mm	
$Lcol-sidemin = a - tflange + 25$	70mm	AISC 358 12.9 Paso 4.2
$Lcol-sidemax$	127mm	AISC 358 12.9 Paso 4.2
$Lcol-side$	90mm ok	

4. Determinación del ancho del área de cedencia del alma de la pieza (mm)

$byield, req'd$	68mm	AISC 358 Ec. 12.9-3
$byieldmax = \min(0,5 * bcol-side, 0,5 * bbm-side, 88)$	83mm	AISC 358 12.9 Paso 5
$byield$	70mm ok	

5. Determinación de la longitud mínima del área de cedencia del alma de la pieza

$Ly-linkmin = (0,05/0,085) * [(d + tstem)/2] + 2R$	136mm	AISC 358 Ec. 12.9-4
$Ly-link$	160mm ok	

6. Cálculo de la tensión cedente esperada y la tensión máxima probable de la pieza

$Ay-link = byield * tstem$	910 mm^2	
$Pye-link = Ay-link * Ry * Fy-link$	35.185 kgf	(345,05 kN) AISC 358 Ec. 12.9-5
$Pr-link = Ay-link * Rt * Fu-link$	49.904 kgf	(489,39 kN) AISC 358 Ec. 12.9-6

7. Selección del ancho y largo de la sección no reducida de la pieza del lado de la viga

Diseño pernos para conexión entre el alma de la pieza y el ala de la viga para transferencia de cortante		
Grado de pernos		ASTM A325
$db-stem$	7/8"	
$Cond.rosca$	"N"	
Fnv	3.793 kgf/cm^2	(371,97 MPa) AISC 360 Tabla J3.2
$Ab = \pi * (db-stem/2)^2$	388 mm^2	
$\phi Rn = \phi * Fnv * Ab$	11.037 kgf	(108,24 kN) AISC 360 J3-1
$nbreq = Pr-link / \phi Rn$	5	
$N^\circ pernos$	6 ok	
Selección del ancho no reducido del alma de la pieza del lado de la viga (mm)		
$\min(bbf, bcf)$	170mm	
$bbm-side$	165mm	
Determinación del largo no reducido del alma de la pieza del lado de la viga		
$Sc min = 1,5 * db-stem$	34mm	AISC 358 12.9 Paso 8.3
Sc	40mm ok	
$Sstem min = 2,67 * db-stem$	60mm	AISC 360-16 J3.3
$Sstem$	70mm ok	
$Sb min = le min$	29mm	AISC 360 Tabla J3.4
Sb	40mm ok	
$Lbm-side = Sc + [(nfilas-1) * Sstem] + Sb$	220mm	AISC 358 12.9-7

Chequeo de la conexión entre el alma de la pieza Yield-Link y el ala de la viga		
$A_g = b_{bm-side} * t_{stem}$	2.145 mm ²	Estado límite: fluencia del área gruesa
$\phi R_n = 0,90 * F_y * A_g$	67.857 kgf	(665,45 kN) AISC 360 J4-1
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	
dagujeros (Agujero estándar)	24mm	AISC 360 Tabla J3.3
$A_e = (b_{bm-side} - 2 * (d_{agujeros} + 2)) * t_{stem}$	1.469 mm ²	Estado límite: fractura del área neta.
$\phi R_n = 0,75 * F_u * A_e$	50.350 kgf	(493,76 kN) AISC 360 J4-2
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	
$h =$	40mm	Estado límite: bloque de cortante (caso 1).
$g_{stem} = b_{bm-side} - 2 * h$	85mm	
$A_{nt1} = (g_{stem} - (d_{agujeros} + 2)) * t_{stem}$	767 mm ²	
$A_{gv1} = 2 * (s_b + 2 * s_{stem}) * t_{stem}$	4.680 mm ²	
$A_{nv1} = 2 * [(s_b + 2 * s_{stem}) - 2,5 * (d_{agujeros} + 2)] * t_{stem}$	2.990 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv1} + F_u * A_{nt1})$	87.778 kgf	(860,81 kN) AISC 360 J4-5
$\leq 0,60 * F_y * A_{gv1} + F_u * A_{nt1}$		
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	
$A_{nt2} = (b_{bm-side} - h - 1,5 * (d_{agujeros} + 2)) * t_{stem}$	1.118 mm ²	Estado límite: bloque de cortante (caso 2).
$A_{gv2} = (s_b + 2 * s_{stem}) * t_{stem}$	2.340 mm ²	
$A_{nv2} = [(s_b + 2 * s_{stem}) - 2,5 * (d_{agujeros} + 2)] * t_{stem}$	1.495 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv2} + F_u * A_{nt2}) \leq 0,60 * F_y * A_{gv2} + F_u * A_{nt2}$	69.064 kgf	(677,29 kN) AISC 360 J4-5
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	
$A_{nt3} = 2 * h - 0,5 * (d_{agujeros} + 2) * t_{stem}$	702 mm ²	Estado límite: bloque de cortante (caso 3).
$A_{gv3} = 2 * (s_b + 2 * s_{stem}) * t_{stem}$	4.680 mm ²	
$A_{nv3} = 2 * [(s_b + 2 * s_{stem}) - 2,5 * (d_{agujeros} + 2)] * t_{stem}$	2.990 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv3} + F_u * A_{nt3}) \leq 0,60 * F_y * A_{gv3} + F_u * A_{nt3}$	85.550 kgf	(838,96 kN) AISC 360 J4-5
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	
$l_c(borde) = s_b - 0,5 * d_{agujeros}$	28mm	Estado límite: aplastamiento ejercido por los pernos.
$l_c(interno) = s_{stem} - d_{agujeros}$	46mm	
$R_n(borde) = 1,2 * l_c * t_{stem} * F_u$	19.961 kgf	(195,75 kN) AISC 360 J3-6c
$R_n(interno) = 1,2 * l_c * t_{stem} * F_u$	32.794 kgf	(321,60 kN) AISC 360 J3-6c
$Lim R_n = 2,4 * d_b - stem * t_{stem} * F_u$	31.368 kgf	(307,61 kN)
$\phi R_n = 0,75 * (2 * R_n(borde) + 4 * R_n(interno))$	124.045 kgf	(1.216 kN)
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	
F_y-viga	3515 kgf/cm ²	(344,70 MPa)
F_u-viga	4570 kgf/cm ²	(448,16 MPa)
$l_c(borde) = (s_c - 0,5 * d_{agujeros}) + L_y-link + (0,5 * L_{col-side})$	233mm	Estado límite: aplastamiento ejercido por los pernos
$l_c(interno) = s_{stem} - d_{agujeros}$	46mm	
$R_n(borde) = 1,2 * l_c * t_{bf} * F_u$	162277 kgf	(1.591 kN) AISC 360 J3-6c
$R_n(interno) = 1,2 * l_c * t_{bf} * F_u$	32037 kgf	(314,18 kN) AISC 360 J3-6c
$Lim R_n = 2,4 * d_b - stem * t_{bf} * F_u$	30.644 kgf	(300,51 kN) AISC 360 J3-6a
$\phi R_n = 0,75 * (2 * R_n(borde) + 4 * R_n(interno))$	137.898 kgf	(1.352 kN)
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	
$A_{nt} = 2 * [(b_{bf} - g_{stem})/2 - 0,5 * d_{agujeros}] * t_{bf}$	774 mm ²	Estado límite: bloque de cortante.
$A_{gv} = 2 * (2 * L_y-link + (0,5 * L_{col-side})) * t_{bf}$	9.779 mm ²	
$A_{nv} = A_{gv} - 2 * [2,5 * (d_{agujeros} + 2) * t_{bf}]$	8.255 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv} + F_u * A_{nt}) \leq 0,60 * F_y * A_{gv} + F_u * A_{nt}$	181.208 kgf	(1.777 kN) AISC 360 J4-5
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	

8. Diseño de la conexión entre el ala de la pieza Yield-Link y el ala de la columna

Grado de pernos:	ASTM A325	Diseño de los pernos.
$r_t = P_{r-link}/4$	12.476 kgf	(122,35 kN) AISC 358 12.9 Paso 9.1
Nº pernos	4	
$d_{b-flange}$	3/4"	
F_{nt}	6.322 kgf/cm ²	(619,98 MPa) AISC 360 Tabla J3.2
$A_b = \pi * (d_{b-flange}/2)^2$	285 mm ²	
$\phi R_n = \phi * F_{nt} * A_b$	13513 kgf	(132,52 kN) AISC 360 J3-1
Chequeo $r_t \leq \phi R_n$	ok	
Cálculo del espesor mínimo del ala de la pieza Yield-Link.		
$l_{e\min}$	26 mm	AISC 360 Tabla J3.4
$s_{\min} = 2,67 * d_{b-flange}$	51mm	AISC 360-16 J3.3
$b_{flange} = b_{col-side}$	165mm	
h_{flange}	170mm	
L_h	30mm	ok
$s_{flange} = b_{flange} - 2 * L_h$	105mm	ok
L_v	30mm	ok
$g_{flange} = h_{flange} - 2 * L_v$	110mm	ok
$b = (g_{flange} - t_{stem})/2$	48,5 mm	
$p = \min(b_{flange}/2, s_{flange})$	85,5mm	
$b' = b - d_{b-flange}/2$	39mm	
ϕ_d	1,00	AISC 358 2.4.1
$t_{flange\min} = \sqrt{4r_t b' / (\phi \phi_d F_u)}$	23mm	
t_{flange}	25mm	
Chequeo $t_{flange} \geq t_{flange\min}$	ok	
Chequeo de la conexión.		
$A_{gv} = 2 * b_{flange} * t_{flange}$	8250 mm ²	Estado límite: fluencia por cortante.
$\phi R_n = 1,00 * 0,60 * F_y * A_{gv}$	173.992 kgf	(1.706 kN) AISC 360 J4-3
Chequeo $P_{r-link} \leq \phi R_n$	ok	
Estado límite: fractura por cortante.		
$d_{agujeros} = d_{b-stem} + 2 \text{ mm}$	22mm	AISC 360 Tabla J3.3
$A_{nv} = 2 * [b_{flange} - 2 * (d_{agujeros} + 2)] * t_{flange}$	5.650 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * 0,60 * F_u * A_{nv}$	116.192 kgf	(1.139 kN) AISC 360 J4-4
Chequeo $P_{r-link} \leq \phi R_n$	ok	
Tipo de soldadura	soldadura de filete doble	Diseño de la soldadura para unión entre alma y ala de la pieza Yield-Link.
Tipo de electrodo	E70XX	
$P_{r-weld} = b_{col-side} * t_{stem} * R_t * F_{u-link}$	117.632 kgf	(1.154 kN) AISC 358 Ec. 12.9-10
F_{EXX}	4.921 kgf/cm ²	(482,59 MPa)
w	20mm	
$L = b_{flange}$	165mm	
$F_{nw} = 0,60 * F_{EXX} * (1,0 + 0,50 * \text{sen}^{1,5} 90)$	4.429 kgf/cm ²	(434,34 MPa) AISC 360 J2-5
$\phi R_n = 0,75 * 2 * 0,707 * w * L * F_{nw}$	154.999 kgf	(1.520 kN) AISC 360 J2-4
Chequeo $P_{r-weld} \leq \phi R_n$	ok	

9. Diseño del sistema para restricción de pandeo

Grado de pernos	ASTM A325	(Según AISC 358-16 12.8.6).
Diámetro de pernos: d_{b-brp}	5/8"	
Geometría y material de la placa para restricción de pandeo.		
Acero: ASTM A572 Grado 50		
Espesor	22mm	
$Ancho = \max(b_{col-side}, b_{bm-side})$	165mm	
$Largo \min = L_{y-link} + 25 \text{ mm}$	185mm	
$Largo \max$	250mm	



Largo	200mm	ok
Geometría y material de los espaciadores. Acero: ASTM A572 Grado 50		
Espesor = t_{stem}	13mm	
Ancho mín = $2 * d_b - b_{rp}$	32mm	
Ancho máx = $(b_{bf} - b_{yield})/2 - 3$	47mm	
Ancho	40mm	ok
Largo = $0,5 * L_{y-link}$	80mm	

10. Cálculo de los parámetros de rigidez de la conexión

Contribución de la rigidez axial elástica debida a la rigidez a flexión en el ala de la pieza Yield-Link.

$$K_1 = \frac{(0.75)(192)E \left(\frac{b_{col-side} t_{flange}^3}{12} \right)}{g_{flange}^3} \quad 488.120 \text{ kgf/mm} \quad (4.786 \text{ kN/mm}) \text{ AISC 358 Ec. 12.9-11}$$

Contribución de la rigidez axial elástica debida a la sección no cedente de la pieza Yield-Link.

$l_v = s_{stem}/2$ 35mm AISC 358 12.9 Paso 11.1

$$K_2 = \frac{t_{stem} b_{col-side} E}{L_{col-side} + s_c + l_v} : \quad 273.000 \text{ kgf/mm} \quad (2.677 \text{ kN/mm}) \text{ AISC 358 Ec. 12.9-12}$$

Contribución de la rigidez axial elástica debida a la sección cedente de la pieza Yield-Link.

$$K_3 = \frac{t_{stem} b_{yield} E}{L_{y-link}} \quad 119.438 \text{ kgf/mm} \quad (1.171 \text{ kN/mm}) \text{ AISC 358 Ec. 12.9-13}$$

Rigidez axial elástica efectiva de la pieza Yield-Link.

$$K_{eff} = \frac{K_1 K_2 K_3}{(K_1 K_2 + K_2 K_3 + K_1 K_3)} \quad 71.001 \text{ kgf/mm} \quad (696 \text{ kN/mm}) \text{ AISC 358 Ec. 12.9-14}$$

Máxima capacidad de momento probable del par de piezas Yield-Link.

$$M_{pr} = P_{r-link}(d + t_{stem}) \quad 18.614 \text{ kgf} * m \quad (182,54 \text{ kN*m}) \text{ AISC 358 Ec. 12.9-16}$$

Momento esperado de fluencia del par de piezas Yield-Link.

$$M_{ye-link} = P_{ye-link}(d + t_{stem}) \quad 13.124 \text{ kgf} * m \quad (128,70 \text{ kN*m}) \text{ AISC 358 Ec. 12.9-15}$$

Deformación axial de la pieza Yield-Link para una rotación de la conexión de 0.04 rad.

$$\Delta_{0.04} = \frac{0.04(d + t_{stem})}{2} \quad 7,46\text{mm} \quad \text{AISC 358 Ec. 12.9-17}$$

Deformación axial de la pieza Yield-Link para una rotación de la conexión de 0.07 rad.

$$\Delta_{0.07} = \frac{0.07(d + t_{stem})}{2} \quad 13,06\text{mm} \quad \text{AISC 358 Ec. 12.9-18}$$

Deformación axial de la pieza Yield-Link para el esfuerzo de cedencia esperado.

$$\Delta_y = \frac{P_{ye-link}}{K_{eff}} \quad 0,50\text{mm} \quad \text{AISC 358 Ec. 12.9-19}$$

Rotación de la conexión para el esfuerzo de cedencia esperado en la pieza Yield-Link.

$$\theta_y = \frac{\Delta_y}{0.5(d + t_{stem})} \quad 0,003 \text{ rad} \quad \text{AISC 358 Ec. 12.9-20}$$

Momento resistente de la conexión.

$$\phi M_n = 0,90 * \frac{M_{ye-link}}{R_y} \quad 10.738 \text{ kgf} * m \quad (105,30 \text{ kN*m}) \text{ AISC 358 12.9 Paso 11.2}$$

11. Cálculo de la fuerza cortante en la viga y en la conexión alma de la viga – ala de la columna

CP	2.700 kgf/m	(26,48 kN/m) Carga permanente en viga
CV	1.000 kgf/m	(9,80 kN/m) Carga variable en viga
L_h	5,46 m	Distancia entre línea central de los pernos de la placa de cortante a ambos extremos de la viga
f_1	1,6	
$Q = 1,2 * CP + f_1 * CV$	4.840 kgf/m	(47,46 kN/m)
$V_{gravity} = Q * L_h/2$	13.213 kgf	(129,58 kN)
$V_u = 2M_{pr}/L_h + V_{gravity}$	20.031 kgf	(196,44 kN) AISC 358 Ec. 12.9-21

12. Chequeo de la relación de momentos de los miembros de la conexión

Propiedades de la columna (HEB-400 ASTM A572 Grado 50).

F_{yc}	3.515 kgf/cm^2	(344,70 MPa)
d_c	400 mm	
A_g	198 cm^2	
Z_c	3.230 cm^3	

Momento resistente de las columnas.

P_{r1}	150.000 kgf	(1.471 kN) Columna inferior
P_{r2}	135.000	(1.324 kN) Columna superior
α_s	1,0	AISC 341 D1.2a
$\Sigma M^*_{pc} = \Sigma Z_c(F_{yc} - \alpha_s P_r/A_g)$	180.577 $kgf * m$	(1771 kN*m) AISC 341 E3-2

Momento resistente de la viga.

$M_{uv} = V_u(a + d_c/2)$	5.408 $kgf * m$	(53,03 kN*m)
$\Sigma M^*_{pb} = \Sigma(M_{pr} + M_{uv})$	24.022 $kgf * m$	(235,58 kN*m) AISC 358 12.4

Relación de momentos.

$\Sigma M^*_{pc}/\Sigma M^*_{pb} > 1,0$	7,5 ok	AISC 341 E3-1
-----------------------------------------	--------	---------------

13. Diseño de la conexión alma de la viga – ala de la columna

Solicitaciones en la conexión:

$M_{u-sp} = V_u * a$	1402 $kgf * m$	(13,75 kN*m) AISC 358 12.9 Paso 15
P_{u-sp}	0 kgf	
V_u	20.031 kgf	(196,34 kN)

Diseño de pernos.

$V_{u-bolt} = \sqrt{P_{u-sp}^2 + (V_u/3)^2}$	6.677 kgf	(65,48 kN) AISC 358 Ec. 12.9-22
Nº pernos	3	
Grado pernos:	ASTM A325	
d_{b-sp}	3/4"	
F_{nv}	3.793 kgf/cm^2	(371,97 MPa) AISC 360 Tabla J3.2
$A_b = \pi * (d_{b-sp}/2)^2$	285 mm^2	
$\phi R_n = 0,75 * F_{nv} * A_b$	8.107 kgf	(79,50 kN) AISC 360 J3-1
Chequeo $V_{u-bolt} \leq \phi R_n$	ok	

Geometría de la placa de cortante.

$l_{emin} \text{ aguj. std}$	26mm	AISC 360 Tabla J3.4
$l_{emin} \text{ ran. hz.} = l_e \text{ min} + 3/4 * d_{b-sp}$	40mm	AISC 360 Tabla J3.5
$s \text{ min} = 2,67 * d_{b-sp}$	51mm	AISC 360-16 J3.3
s	30mm	
h	45mm	
s_{vert}	55mm	
$L_{slot} = d_{b-sp} + 3 + 0,14 * s_{vert}$	30mm	AISC 358 Ec. 12.9-23M
L_{sp}	170mm	Largo de la placa
b_{sp}	115mm	Ancho de la placa
t_p	10mm	Espesor de la placa

Chequeos en la placa de cortante.
Acero de la placa: ASTM A572 Grado 50
Estado límite: fluencia por tensión.



$A_g = L_{sp} * t_p$	1.700 mm ²	
$\phi R_n = 0,90 * F_y * A_g$	53.779 kgf	(527,39 kN) AISC 360 J4-1
<i>Chequeo</i> $P_u-sp \leq \phi R_n$	ok	
Estado límite: fluencia por cortante.		
$A_{gv} = L_{sp} * t_p$	1.700 mm ²	
$\phi R_n = 1,00 * 0,60 * F_y * A_{gv}$	35.853 kgf	(351,60 kN) AISC 360 J4-3
<i>Chequeo</i> $V_u \leq \phi R_n$	ok	
Estado límite: fractura por tensión.		
$d_{agujeros} = d_{b-sp} + 2 \text{ mm}$	22 mm	AISC 360 Tabla J3.3
$A_e = [L_{sp} - 3 * (d_{agujeros} + 2)] * t_p$	980 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * F_u * A_e$	33.589 kgf	(329,40 kN) AISC 360 J4-2
<i>Chequeo</i> $P_u-sp \leq \phi R_n$	ok	
Estado límite: fractura por cortante.		
$A_{nv} = [L_{sp} - 3 * (d_{agujeros} + 2)] * t_p$	980 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * 0,60 * F_u * A_{nv}$	20.153 kgf	(197,63 kN) AISC 360 J4-4
<i>Chequeo</i> $V_u \leq \phi R_n$	ok	
Estado límite: bloque de cortante (caso 1).		
$A_{nt1} = [L_{sp} - 2 * s - 2 * (d_{agujeros} + 2)] * t_p$	620 mm ²	
$A_{gv1} = 2 * h * t_p$	900 mm ²	
$A_{nv1} = 2 * [h - (L_{slot} + 2)/2] * t_p$	580 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv1} + F_u * A_{nt1} \leq 0,60 * F_y * A_{gv1} + F_u * A_{nt1})$	33.178 kgf	(325,37 kN) AISC 360 J4-5
<i>Chequeo</i> $P_u-sp \leq \phi R_n$	ok	
Estado límite: bloque de cortante (caso 2). <i>Para fuerza</i> P_u-sp		
$A_{nt2} = [L_{sp} - 2 * s - 2 * (d_{agujeros} + 2)] * t_p$	800 mm ²	
$A_{gv2} = 2 * h * t_p$	450 mm ²	
$A_{nv2} = 2 * [h - (L_{slot} + 2)/2] * t_p$	290 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv1} + F_u * A_{nt1} \leq 0,60 * F_y * A_{gv1} + F_u * A_{nt1})$	33.383 kgf	(327,38 kN) AISC 360 J4-5
<i>Chequeo</i> $P_u-sp \leq \phi R_n$	ok	
<i>Para fuerza</i> V_u		
$A_{nt2} = [h - (L_{slot} + 2)/2] * t_p$	290 mm ²	
$A_{gv2} = (L_{sp} - s) * t_p$	1400 mm ²	
$A_{nv2} = [L_{sp} - s - 2,5 * (d_{agujeros} + 2)] * t_p$	800 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv2} + F_u * A_{nt2} \leq 0,60 * F_y * A_{gv2} + F_u * A_{nt2})$	26.391 kgf	(258,81 kN) AISC 360 J4-5
<i>Chequeo</i> $V_u \leq \phi R_n$	ok	
Estado límite: tensión y flexión combinadas.		
$A_g = L_{sp} * t_p$	1.700 mm ²	
$Z_x = (t_p * L_{sp}^2)/4$	72.250 mm ³	
$\phi R_n = 0,90 * F_y * A_g$	53.779 kgf	(527,39 kN)
$\phi M_n = 0,90 * F_y * Z_x$	2285 kgf * m	(22,40 kN*m)
$P_u-sp/\phi R_n + M_u-sp/\phi M_n \leq 1$	0,61 ok	
Estado límite: aplastamiento ejercido por los pernos (para fuerza P_u-sp).		
$l_c = h - d_{agujeros}/2$	34 mm	
$R_n = 1,2 * l_c * t_p * F_u$	18.645 kgf	(182,84 kN) AISC 360 J3-6c
$Lim R_n = 2,4 * d_{b-sp} * t_p * F_u$	21.936 kgf	(215,12 kN) AISC 360 J3-6a
$\phi R_n = 0,75 * R_n$	13.983 kgf	(137,13 kN)
<i>Chequeo</i> $P_u-sp \leq \phi R_n$	ok	
Estado límite: aplastamiento ejercido por los pernos (para fuerza V_u).		
$l_{cb}(\text{borde}) = s - d_{agujeros}/2$	19mm	
$l_{ci}(\text{interno}) = s_{vert} - d_{agujeros}$	33mm	
$R_n(\text{borde}) = 1,2 * l_{cb} * t_p * F_u$	10.419 kgf	(102,17 kN) AISC 360 J3-6c
$R_n(\text{interno}) = 1,2 * l_{ci} * t_p * F_u$	18.097 kgf	(177,47 kN) AISC 360 J3- 6c
$Lim R_n = 2,4 * d_{b-sp} * t_p * F_u$	21.936 kgf	(215,12 kN) AISC 360 J3- 6a
$\phi R_n = 0,75 * (R_n(\text{borde}) + 2 * R_n(\text{interno}))$	34.959 kgf	(342,83 kN)
<i>Chequeo</i> $V_u \leq \phi R_n$	ok	
Diseño de la soldadura.		
Tipo de soldadura: soldadura de filete doble		
Tipo de electrodo: E70XX		
$A_e = A_{nv} = L_{sp} * t_p$	1.700 mm ²	

$\phi R_n(\text{tensión}) = 0,75 * F_u * A_e$	58.268 kgf	(571,41 kN) AISC 360 J4-2
$\phi R_n(\text{corte}) = 0,75 * 0,60 * F_u * A_{nv}$	34.961 kgf	(342,85 kN) AISC 360 J4-2
$F_{nwt} = 0,60 * F_{EXX} * (1,0 + 0,50 * \text{sen}^{1,5}90)$	4.432 kgf/cm ²	(434,63 MPa)
$F_{nwc} = 0,60 * F_{EXX} * (1,0 + 0,50 * \text{sen}^{1,5}90)$	2.955 kgf/cm ²	(289,79 MPa)
$w_{req}(\text{tensión}) = \phi R_n(\text{tensión}) / (2 * 0,707 * L_{sp} * F_{nwt})$	7,29 mm	
$w_{req}(\text{corte}) = \phi R_n(\text{corte}) / (2 * 0,707 * L_{sp} * F_{nwc})$	6,56 mm	
$w_{min}(\text{norma}) = 5/8 * t_p$	6,25 mm	AISC 358 12.9 Paso 15.4
w_{min}	8mm	
w	10mm ok	
$F_{nw} = 0,60 * F_{EXX} * (1,0 + 0,50 * \text{sen}^{1,5}90)$	4.429 kgf/cm ²	(434,34 MPa) AISC 360 J2-5
$\phi R_n\text{-soldadura} = 2 * 0,707 * w * L * F_{nw}$	103.333	(1.013 kN) AISC 360 J2-4
<i>Chequeo máx $\phi R_n \leq \phi R_n\text{-soldadura}$</i>	ok	
<i>Chequeos en el alma de la viga.</i>		
<i>Acero: ASTM A572 Grado 50</i>		
t_w	8mm	
h	334,6mm	
<i>Estado límite: fluencia por tensión.</i>		
$A_g = h * t_w$	2.676,8 mm ²	
$\phi R_n = 0,90 * F_y * A_g$	84.680 kgf	(830,43 kN) AISC 360 J4-1
<i>Chequeo $P_u\text{-sp} \leq \phi R_n$</i>	ok	
<i>Estado límite: fluencia por cortante</i>		
$A_{gv} = h * t_w$	2.676,8 mm ²	
$\phi R_n = 1,00 * 0,60 * F_y * A_{gv}$	56.453 kgf	(553,61 kN) AISC 360 J4-3
<i>Chequeo $V_u \leq \phi R_n$</i>	ok	
<i>Estado límite: fractura por tensión.</i>		
$d_{agujeros} = d_{b-sp} + 2 \text{ mm}$	22 mm	AISC 360 Tabla J3.3
$A_e = [h - 3 * (d_{agujeros} + 2)] * t_w$	2.100,8 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * F_u * A_e$	72.004 kgf	(706,12 kN) AISC 360 J4-2
<i>Chequeo $P_u\text{-sp} \leq \phi R_n$</i>	ok	
<i>Estado límite: fractura por cortante.</i>		
$A_{nv} = [h - 3 * (d_{agujeros} + 2)] * t_w$	2.100,8 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * 0,60 * F_u * A_{nv}$	43.202 kgf	(423,67 kN) AISC 360 J4-4
<i>Chequeo $V_u \leq \phi R_n$</i>	ok	
<i>Estado límite: bloque de cortante (caso 1).</i>		
$A_{nt1} = [2 * s_{vert} - 2 * (d_{agujeros} + 2)] * t_w$	496 mm ²	
$A_{gv1} = 2 * (a - t_{flange}) * t_w$	720 mm ²	
$A_{nv1} = 2 * [a - t_{flange} - 0,5 * (d_{agujeros} + 2)] * t_w$	528 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv1} + F_u * A_{nt1})$	27.858 kgf	(273,19 kN) AISC 360 J4-5
$\leq 0,60 * F_y * A_{gv1} + F_u * A_{nt1}$	ok	
<i>Chequeo $P_u\text{-sp} \leq \phi R_n$</i>	ok	
<i>Estado límite: bloque de cortante (caso 2). Para fuerza $P_u\text{-sp}$</i>		
$A_{nt2} = [2 * s_{vert} + (h - 2 * s_{vert}) / 2 - 2,5 * (d_{agujeros} + 2)] * t_w$	1.298,4 mm ²	
$A_{gv2} = (a - t_{flange}) * t_w$	360 mm ²	
$A_{nv2} = [a - t_{flange} - 0,5 * (d_{agujeros} + 2)] * t_w$	264 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv2} + F_u * A_{nt2}) \leq 0,60 * F_y * A_{gv2} + F_u * A_{nt2}$	49.931 kgf	(489,66 kN) AISC 360 J4-5
<i>Chequeo $P_u\text{-sp} \leq \phi R_n$</i>	ok	
<i>Para fuerza V_u</i>		
$A_{nt2} = [a - t_{flange} - 0,5 * (d_{agujeros} + 2)] * t_w$	264 mm ²	
$A_{gv2} = [2 * s_{vert} + (h - 2 * s_{vert}) / 2] * t_w$	1.778,4 mm ²	
$A_{nv2} = [2 * s_{vert} + (h - 2 * s_{vert}) / 2 - 2,5 * (d_{agujeros} + 2)] * t_w$	1.298,4 mm ²	
$\phi R_n = 0,75 * (0,60 * F_u * A_{nv2} + F_u * A_{nt2}) \leq 0,60 * F_y * A_{gv2} + F_u * A_{nt2}$	35.750 kgf	(350,59 kN) AISC 360 J4-5
<i>Chequeo $V_u \leq \phi R_n$</i>	ok	
<i>Estado límite: aplastamiento ejercido por los pernos (para fuerza $P_u\text{-sp}$).</i>		
$l_c = a - t_{flange} - d_{agujeros} / 2$	34 mm	
$R_n = 1,2 * l_c * t_w * F_u$	14.916 kgf	(146,28 kN) AISC 360 J3-6c
$Lim R_n = 2,4 * d_{b-sp} * t_w * F_u$	17.548 kgf	(172,09 kN) AISC 360 J3-6a

$\phi R_n = 0.75 * R_n$	11.187 kgf	(109,71 kN)
Chequeo $P_u-sp \leq \phi R_n$	ok	
<i>Estado límite: aplastamiento ejercido por los pernos (para fuerza Vu).</i>		
$l_{cb}(borde) = (h - 2 * s_{vert})/2 - 0,5 * d_{agujeros}$	101.3 mm	
$l_{ci}(interno) = s_{vert} - d_{agujeros}$	33 mm	
$R_n(borde) = 1,2 * l_{cb} * t_w * F_u$	44.442 kgf	(435,83 kN) AISC 360 J3-6c
$R_n(interno) = 1.2 * l_{ci} * t_w * F_u$	14.477 kgf	(141,97 kN) AISC 360 J3-6c
$Lim R_n = 2,4 * d_{b-sp} * t_w * F_u$	17.548 kgf	(172,09 kN) AISC 360 J3-6a
$\phi R_n = 0.75 * (R_n(borde) + 2 * R_n(interno))$	34.876 kgf	(342,02 kN)
Chequeo $V_u \leq \phi R_n$	ok	
<i>Diseño del recorte en el alma de la viga.</i>		
$c_{mín} = le$	26 mm	AISC 360 Tabla 3.4
$c_{máx} = a - t_{flange}$	45 mm	
$c_{mín} \leq c \leq c_{máx}$	40 mm	

14. Chequeo de la zona panel

A_g	198 cm ²	
F_y	3.515 kgf/cm ²	(344,70 MPa)
P_r	150.000 kgf	(1.471 kN)
$P_y = F_y * A_g$	695.970 kgf	(6.825 kN)
b_{bf}	170 mm	
b_{cf}	300 mm	
d_b	360 mm	
d_c	400 mm	
t_{bf}	12,7 mm	
t_{cf}	24 mm	
t_w	13,5 mm	
α	1,0	
<i>No se considera el efecto de la deformación inelástica de la zona panel en la estabilidad del pórtico en el análisis.</i>		
Caso: $\alpha P_r \leq 0,4 P_y$		
$\phi R_n = 0,90 * 0,60 * F_y * d_c * t_w$	102.497 kgf	(1.005 kN) AISC 360 J10-9
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	
<i>No se requiere plancha de refuerzo para la zona panel.</i>		

15. Chequeos del alma de la columna

F_{yw}	3.515 kgf/cm ²	(344,70 MPa)
E	2.100.000 kgf/cm ²	(205939,70 MPa)
k	51 mm	
l_b	13 mm	
t_w	13,5 mm	
t_f	24 mm	
Q_f	1,0	
<i>Estado límite: fluencia local</i>		
<i>Caso: la fuerza concentrada es aplicada a una distancia del extremo de la columna mayor a su altura dc.</i>		
$\phi R_n = 1,00 * F_{yw} * t_w * (5k + l_b)$	127.172 kgf	(1.247 kN) AISC 360 J10-2
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	
<i>Estado límite: aplastamiento local</i>		
<i>Caso: la fuerza concentrada es aplicada a una distancia del extremo de la columna mayor a dc/2.</i>		
$\phi R_n = 0,75$		
$* 0,80 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d_c} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} Q_f$	130.417 kgf	(1.279 kN) AISC 360 J10-4
Chequeo $P_r-link \leq \phi R_n$	ok	

16. Chequeos del ala de la columna

b_{cf}	300mm
$h_1 = d_b + t_{stem} - \frac{g_{flange}}{2}$	318mm
$g = s_{flange}$	105mm



$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} * g} \quad 88,74\text{mm}$$

$$h_0 = d_b + t_{stem} + \frac{g_{flange}}{2} \quad 428 \text{ mm}$$

$$c = g_{flange} \quad 110\text{mm}$$

$$t_{cfmin} = \sqrt{1,11M_{pr}/\phi_a F_{yc} Y_c} \quad 14 \text{ mm} \quad \text{AISC 358 Ec. 12.9-24}$$

$$t_{cf} \quad 24\text{mm}$$

$$\text{Chequeo } t_{cf} \geq t_{cfmin} \quad \text{ok}$$

No se requieren planchas de continuidad.

4.4. Comparación de Resultados

Una vez obtenidos los resultados de diseño por las dos vías, se tomó nota de todos los parámetros de diseño calculados por el programa para luego compararlos con los conseguidos mediante el cálculo manual, observados en la Tabla 1.

Tabla 1. Cuadro de resumen comparativo entre resultados obtenidos manualmente y el software CONESTRONG. Fuente los autores

Parámetro	Diseño manual	Diseño CONESTRONG	Diferencia (%)
P'(y-link) (kg-f)	30864	30864	0,0000
A'(y-link) (mm ²)	878	877	0,1139
L(col-side) min (mm)	70	70	0,0000
b(yield, req'd) (mm)	68	68	0,0000
b(yield) max (mm)	83	83	0,0000
P(ye-link) (kg-f)	35185	35215	0,0853
P(r-link) (kg-f)	49904	50109	0,4108
Nº pernos req. Yield-Link - viga	6	6	0,0000
Le min Yield-Link - viga (mm)	29	29	0,0000
s min Yield-Link - viga (mm)	60	60	0,0000
L(bm-side) (mm)	220	220	0,0000
g(stem) (mm)	85	85	0,0000
φRn Fluencia área gruesa Yield-Link (kg-f)	67857	67915	0,0855
φRn Fractura área neta Yield-Link (kg-f)	50350	50724	0,7428
φRn Bloque de cortante 1 Yield-Link (kg-f)	87778	88473	0,7918
φRn Bloque de cortante 2 Yield-Link (kg-f)	69064	69598	0,7732
φRn Bloque de cortante 3 Yield-Link (kg-f)	85550	86236	0,8019
φRn Aplastamiento pernos Yield-Link (kg-f)	124045	125623	1,2721
φRn Aplastamiento pernos ala viga (kg-f)	137898	139881	1,4380
φRn Bloque de cortante ala viga (kg-f)	181208	184949	2,0645
rt (kg-f)	12476	12527	0,4088
Le min Yield-Link - columna (mm)	26	26	0,0000
s(flange) (mm)	105	105	0,0000
g(flange) (mm)	110	110	0,0000
t(flange) min (mm)	23	23	0,0000
φRn Fluencia por cortante Yield-Link (kg-f)	173992	174141	0,0856
φRn Fractura por cortante Yield-Link (kg-f)	116192	120333	3,5639
P(r-weld) (kg-f)	117632	118113	0,4089
φRn soldadura Yield-Link (kg-f)	154999	155152	0,0987
Mínimo largo BRP (mm)	185	185	0,0000
Ancho mínimo espaciadores (mm)	32	32	0,0000
Ancho máximo espaciadores (mm)	47	47	0,0000
Δy (mm)	0,50	0,51	2,0000
Δ0,04 (mm)	7,46	7,46	0,0000
Δ0,07 (mm)	13,06	13,06	0,0000
M(ye-link) (kg-f*m)	13124	13135	0,0838
M(pr-link) (kgf*m)	18614	18691	0,4137
φMn (kgf*m)	10738	10747	0,0838
θy (rad)	0,003	0,003	0,0000



Q (kgf/m)	4840	4840	0,0000
Vgravity (kgf)	13213	13213	0,0000
Vu (kgf)	20031	20060	0,1448
ΣM_{pc} (kgf*m)	180577	180771	0,1074
Muv (kgf*m)	5408	5416	0,1479
ΣM_{pb} (kgf*m)	24022	24107	0,3538
$\Sigma M^*_{pc} / \Sigma M^*_{pb}$	7.5	7.5	0,0000
M(u-sp) (kgf*m)	1402	1404	0,1427
V(u-bolt) (kgf)	6677	6687	0,1498
Le min placa de cortante (mm)	26	26	0,0000
s min placa de cortante (mm)	51	51	0,0000
L(slot) (mm)	30	30	0,0000
Longitud placa de cortante (mm)	170	170	0,0000
Ancho placa de cortante (mm)	115	115	0,0000
ϕR_n Fluencia áre gruesa SP (tensión) (kgf)	53779	53825	0,0855
ϕR_n Fractura área neta SP (tensión) (kgf)	33589	35134	4,5997
ϕR_n Fluencia áre gruesa SP (cortante) (kgf)	35853	35884	0,0865
ϕR_n Fractura área neta SP (cortante) (kgf)	20153	21080	4,5998
ϕR_n Bloque de cortante 1 SP (kgf)	33178	34252	3,2371
ϕR_n Bloque de cortante 2 SP (Vu) (kgf)	26391	27203	3,0768
ϕR_n Bloque de cortante 2 SP (Pu-sp) (kgf)	33383	34693	3,9242
ϕR_n Aplastamiento pernos SP (Vu) (kgf)	34959	36510	4,4366
ϕR_n Aplastamiento pernos SP (Pu-sp) (kgf)	13983	14323	2,4315
Factor resistencia a tensión y flexión SP	0.61	0.61	0,0000
ϕR_n Fluencia áre gruesa viga (tensión) (kgf)	84680	84753	0,0862
ϕR_n Fractura área neta viga (tensión) (kgf)	72004	73425	1,9735
ϕR_n Fluencia áre gruesa viga (cortante) (kgf)	56453	56502	0,0868
ϕR_n Fractura área neta viga (cortante) (kgf)	43202	44055	1,9744
ϕR_n Bloque de cortante 1 viga (kgf)	27858	28948	3,9127
ϕR_n Bloque de cortante 2 viga (Vu) (kgf)	35750	36647	2,5091
ϕR_n Bloque de cortante 2 viga (Pu-sp) (kgf)	49931	51186	2,5135
ϕR_n Aplastamiento pernos viga (Vu) (kgf)	34876	35294	1,1985
ϕR_n Aplastamiento pernos viga (Pu-sp) (kgf)	11187	11458	2,4225
w min soldadura placa cortante (mm)	8	8	0,0000
Recorte alma de la viga min (mm)	26	26	0,0000
Recorte alma de la viga max (mm)	45	45	0,0000
ϕR_n zona panel (kgf)	102497	102585	0,0859
ϕR_n fluencia local en el alma (kgf)	127172	127281	0,0857
ϕR_n aplastamiento local en el alma (kgf)	130417	128578	1,4101
tcf min (mm)	14	14	0,0000

5. CONCLUSIONES

Gracias a la investigación llevada a cabo para el desarrollo del programa CONESTRONG se pudo conocer la importancia que tienen las conexiones precalificadas de la norma AISC 358-16, y las ventajas que ofrece el diseño de estructuras con este tipo de conexiones respaldadas por los últimos conocimientos adquiridos en cuanto al diseño seguro de estructuras de acero. El programa desarrollado ofrece asistencia de gran valor durante el diseño de conexiones precalificadas tipo *Simpson Strong-Tie Strong Frame*, su interfaz gráfica permite el ingreso de datos de manera sencilla, y en todas las fases del proceso se ofrece orientación sobre los parámetros de la conexión que se diseñan, y en caso de ingresar un valor fuera del rango permitido, el programa muestra una advertencia. La programación se basó en el procedimiento de diseño de la sección 12.9 de la norma AISC 358-16, la cual establece los

lineamientos para el diseño de la conexión y los distintos valores sugeridos que se muestran en el programa.

Una vez desarrollado el software se pudo conocer la gran cantidad de detalles que se deben considerar cuando se diseña este tipo de conexión, y todos los chequeos que se deben llevar a cabo para sus distintos componentes a fin de garantizar un buen comportamiento. Realizar el diseño de este tipo de conexión de manera manual conlleva mucho tiempo, como se constató durante la realización del ejemplo de verificación independiente, y aumenta considerablemente la probabilidad de cometer errores, por el gran número de operaciones matemáticas que implica el diseño de la conexión y sus diversas verificaciones. Los resultados obtenidos al utilizar el programa fueron comparados con otra fuente independiente para validarlos: un diseño realizado de manera manual. Los resultados de esta validación fueron satisfactorios. Es por todo esto que se confirma la idea que se tenía al inicio de la elaboración de este trabajo: un programa constituye una herramienta valiosa para el diseño de este tipo de conexiones.

6. FINANCIAMIENTO

Propio de los autores.

7. CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

8. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

J.M.S.M desarrollo los algoritmos e interfaz gráfica del programa *CONESTRONG* destinado para fines académicos, y G.P asesorías para la comprensión de la normativa *ANSI/AISC 358-16* y del programa *MATLAB*.

9. REFERENCIAS

- [1] J. Lee, “*The Government's Response to the Northridge Earthquake*”, Washington, 1996
- [2] ANSI/AISC 358-16, Normativa Americana ANSI/AISC 358-16, “*Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications*”, Chicago: American Institute of Steel Construction, 2016
- [3] ANSI/AISC 341-16, Seismic provisions for structural steel buildings, Chicago, Illinois, 2016
- [4] S. E. Pryor. Specialized seismic solution. Modern Steel Construction magazine. AISC, Febrero 2016

- [5] G. Pannillo, M. Chacón y H. Riera, “Desarrollo y Programación de Conexiones Sismorresistentes Tipo BFP y RBS Conforme a la Normativa ANSI/AISC 358-16”, *Revista Gaceta Técnica*, 51-68, 2018
- [6] G. Pannillo, E. Vielma, W. Ocanto y J. Vielma, “Development and Programming of END-PLATE 4E and 8ES Connections in Accordance with the ANSI / AISC 358-16 Regulations”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, Vol. 25(1), 39-60, 2020
- [7] G. Pannillo, O. Gutiérrez y J. Vielma, “Development and Programming of Double Tee (DOUBLE-TEE MOMENT CONNECTIONS) Sismorresistant Connections in Accordance with the ANSI / AISC 358-16 Regulations”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, Vol. 23(2), 189-207, 2018
- [8] K. J. Chirino Alvarado y G. Pannillo, “Programa Kaiser Connex para conexiones sismorresistentes tipo Kaiser Bolted Bracket conforme a la normativa ANSI/AISC 358-16”, *Gaceta Técnica*, vol. 24, n.º 2, pp. 23-43, jul. 2023