



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA PRECALIFICADA (BUEEP 4E) DEL CÓDIGO  
ANSI/AISC 358-16 Y SU COMPARATIVA CON SOFTWARE DE DISEÑO RAM CONNECTION**

**Marvin Josué Flores Orozco**

Asesorado por MSc. Ing. Luis Esturado Saravia Ramírez

Guatemala, noviembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA PRECALIFICADA (BUEEP 4E) DEL CÓDIGO  
ANSI/AISC 358-16 Y SU COMPARATIVA CON SOFTWARE DE DISEÑO RAM CONNECTION**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**MARVIN JOSUÉ FLORES OROZCO**

ASESORADO POR MSC. ING. LUIS ESTUARDO SARAVIA RAMÍREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. José Estuardo Galindo Escobar
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA PRECALIFICADA (BUEEP 4E) DEL CÓDIGO ANSI/AISC 358-16 Y SU COMPARATIVA CON SOFTWARE DE DISEÑO RAM CONNECTION**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 03 de noviembre de 2021.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marvin Josué Flores Orozco', with a long horizontal line extending to the right.

**Marvin Josué Flores Orozco**

Guatemala 23 agosto de 2023

Ingeniero Armando Fuentes Roca  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Marvin Josué Flores Orozco, quien se identifica con carné número 2005-17723, titulado **DISEÑO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA PRECALIFICADA (BUEEP 4E) DEL CÓDIGO ANSI/AISC 358-16 Y SU COMPARATIVA CON SOFTWARE DE DISEÑO RAM CONNECTION.**

Se reviso el trabajo de graduación y se hicieron las correcciones correspondientes en la cual considero que el cumple las expectativas por la Facultad de Ingeniería Civil, por lo que hago constar la aprobación del trabajo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme

Atentamente



Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez

Asesor

LUIS ESTUARDO SARAVIA RAMIREZ

M. Sc. Ing. Civil  
Colegiado 3988



Guatemala, 18 septiembre 2023

Ingeniero  
Armando Fuentes Roca  
Coordinador del Departamento de Estructuras  
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniero Fuentes:

Por medio de la presente comunico a usted, que La Escuela de Ingeniería Civil a través del Departamento de Estructuras, ha aprobado el tema para trabajo de Tesis, **“DISEÑO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA PRECALIFICADA (BUEEP 4E) DEL CODIGO ANSI/AISC 358-16 Y SU COMPARATIVA CON SOFTWARE DE DISEÑO RAM CONNECTION”**, por el estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, **Marvin Josué Flores Orozco**, Registro Académico, **2005-17723**, como asesor el **Ing. Luis Estuardo Saravia Ramirez**

Así mismo se le recuerda que el trabajo de graduación deberá ser estructurado conforme a lo indicado en el Reglamento de trabajos de Graduación de la Facultad de Ingeniería, presentando según se señala en las especificaciones para la elaboración del informe final y se recomienda que el contenido esté comprendido entre 40 y 80 hojas, con énfasis en el aporte del estudiante en el tema desarrollado.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Msc. Ing. Luis E. Saravia R.  
Revisor de tesis  
Facultad de Ingeniería  
Usac

Revisor del Departamento de Estructuras

Asesor/Interesado





LNG.DIRECTOR.223.EIC.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA PRECALIFICADA (BUEEP 4E) DEL CÓDIGO ANSI/AISC 358-16 Y SU COMPARATIVA CON SOFTWARE DE DISEÑO RAM CONNECTION**, presentado por: **Marvin Josué Flores Orozco**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Armando Fuentes Roca  
Director  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, noviembre de 2023





Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101- 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.728.2023

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA PRECALIFICADA (BUEEP 4E) DEL CÓDIGO ANSI/AISC 358-16 Y SU COMPARATIVA CON SOFTWARE DE DISEÑO RAM CONNECTION**, presentado por: **Marvin Josué Flores Orozco**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera



Decano a.i.

Guatemala, noviembre de 2023

JFGR/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y permitirme alcanzar esta meta.
<b>Mis padres</b>	Gracias por ser mis pilares, mi ejemplo, apoyo y por su comprensión durante toda la vida.
<b>Mi esposa</b>	Karla Luis, hoy ha llegado el día, valió la pena tanto esfuerzo, gracias amor, te amo.
<b>Mis hijos</b>	María José y Rodrigo, este trabajo va dedicado a ustedes mis hijos, los quiero mucho.
<b>Mi familia</b>	Siempre lo decía mi abuelo: “familia unida, familia feliz”.
<b>Mis amigos</b>	Por todas las experiencias juntos, por sus muestras de cariño y lo que nos falta por vivir.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Gracias a la vida y en los momentos más difíciles siempre estar presente para mí.
- Mi madre** Iohana Orozco Aguilar, siempre nos has apoyado en todo, gracias por darme el estudio, con mucho esfuerzo lo hiciste por amor.
- Mi padre** Ing. Arnoldo Flores (q. e. p. d.), quiero darte las gracias por la formación académica, por ser quien soy el día de hoy, en todos los aspectos.
- Mi esposa** Karla Luis, por apoyarme siempre en las buenas y en las malas, por darme tus consejos cuando muchas veces me daba por vencido y siempre estabas ahí para levantarme.
- Mis hermanas** Por el apoyo que siempre me han dado y ser parte integral en mi vida.
- Suegra** Halida Berganza, por sus consejos, apoyo y muestras de cariño.
- Ing. Luis Saravia** Por su amistad, consejos, preparación académica, docencia y asesoría en la realización de este trabajo.

**Facultad de Ingeniería**

Por la preparación académica y permitirme formar parte de esta hermosa Facultad.

**Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería**

En especial a la sección de metales y productos manufacturados, gracias por su amistad, trabajo y porque también gracias a ustedes pude terminar la carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Código ANSI/AISC 360-16 .....	1
1.2. Código ANSI/AISC 358-16 .....	1
1.3. Software Ram Connection.....	1
1.4. Aceros ASTM 992 .....	2
1.5. Clasificación de los sistemas estructurales .....	2
1.6. Pórtico no arriostrado .....	3
1.7. Pórtico especial resistente a momento (SMF) .....	4
1.8. Pórtico intermedio resistente a momento (IMF).....	5
1.9. Pórtico ordinario resistente a momento (OMF).....	5
1.10. Conexiones simples .....	5
1.11. Conexión a momento .....	6
1.11.1. Conexión de restricción total (FR) .....	7
1.11.2. Conexión de restricción parcial (PR) .....	7
1.12. Rótula plástica .....	7
1.13. Momento plástico .....	8
1.14. Momento máximo probable en la rótula plástica .....	8
1.15. Cortante máximo en la rótula plástica .....	9

1.16.	Resistencia a corte requerida de la viga .....	9
1.17.	Criterio de columna fuerte-viga débil.....	10
1.18.	Placas de continuidad .....	10
1.19.	Zona de panel .....	11
1.20.	Diseños de conexiones precalificadas en Guatemala .....	11
1.21.	Conexiones precalificadas AISC 358-16.....	12
2.	DISEÑO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA PRECALIFICADA (BUEEP 4E) DEL CÓDIGO ANSI/AISC 358-16 .....	15
2.1.	Límites de precalificación .....	17
2.1.1.	Límites para vigas .....	17
2.1.2.	Límites para columnas .....	19
2.1.3.	Límites para las relaciones entre los parámetros de la columna y de la viga.....	19
2.2.	Conexión a momento de placa de extremo extendida sin rigidizar (BUEEP 4E).....	20
2.2.1.	Chequeo preliminar a la viga.....	20
2.2.2.	Chequeo preliminar para la columna:.....	21
2.2.3.	Diseño de la placa de extremo y pernos .....	23
2.2.4.	Diseño del lado de la columna .....	32
2.2.5.	Chequeos a la zona panel.....	40
2.2.6.	Revisión de la relación de los momentos viga- columna .....	41
2.2.7.	Diseño de las placas de continuidad .....	42
2.2.8.	Soldadura .....	44
2.2.9.	Diseño de las placas de refuerzo en la zona de panel .....	47

3.	DISEÑO DE CONEXIÓN PRECALIFICADA DE PLACA DE EXTREMO EXTENDIDA DE CUATRO PERNOS SIN RIGIDIZADORES (BUEEP 4E) .....	49
3.1.	Límites de precalificación .....	50
3.1.1.	Chequeo preliminar a la viga .....	50
3.1.2.	Chequeo preliminar para la columna .....	52
3.1.3.	Diseño de la placa de extremo y pernos.....	53
3.1.4.	Diseño del lado de la columna.....	68
3.1.5.	Revisión de la zona de panel.....	73
3.1.6.	Revisión de la relación de los momentos viga- columna.....	75
4.	DISEÑO DE CONEXIÓN EN SOFTWARE RAM CONNECTION .....	79
4.1.	Definir sistema de unidades .....	79
4.2.	Selección de elementos estructurales .....	80
4.3.	Selección de cargas gravitacionales y dinámicas.....	81
4.4.	Selección de combinaciones de carga .....	82
4.5.	Selección de código de diseño .....	83
4.6.	Selección de tipo de conexión .....	83
4.7.	Panel de modificación en conexión precalificada .....	84
4.8.	Selección de rigidizadores.....	86
4.9.	Resultados obtenidos de conexión precalificada.....	86
4.10.	Comportamiento de conexión.....	87
5.	ANALISIS DE RESULTADOS .....	89
5.1.	Resultados teóricos de conexión (BUEEP 4E).....	89
5.2.	Resultados de software Ram Connecion Standalone .....	90
5.3.	Comparación de resultados de cálculos teóricos vs software Ram Connection.....	91

CONCLUSIONES..... 93  
RECOMENDACIONES ..... 95  
REFERENCIAS ..... 97  
APÉNDICES..... 101

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Clasificación de sistemas estructurales .....	2
<b>Figura 2.</b>	Partes que conforman el sistema de pórtico no arriostrado .....	4
<b>Figura 3.</b>	Tipos de conexiones a momento .....	6
<b>Figura 4.</b>	Ubicación de rótulas plásticas .....	8
<b>Figura 5.</b>	Fuerza de corte en la rótula plástica .....	9
<b>Figura 6.</b>	Concentración de fuerzas y momentos.....	10
<b>Figura 7.</b>	Ubicación de zona panel.....	11
<b>Figura 8.</b>	Conexiones precalificadas a momento .....	14
<b>Figura 9.</b>	Conexión precalificada de placa de extremo no rigidizada .....	16
<b>Figura 10.</b>	Placa de extremo a cuatro pernos rigidizada (BUEEP 4E) .....	17
<b>Figura 11.</b>	Resumen del parámetro de mecanismo de línea de fluencia .....	26
<b>Figura 12.</b>	Resumen de los parámetros del mecanismo de línea de falla del ala .....	33
<b>Figura 13.</b>	Resumen de los parámetros del mecanismo de línea de falla de la aleta .....	34
<b>Figura 14.</b>	Ingreso de sistema de unidades .....	80
<b>Figura 15.</b>	Seleccionar tipo de conexión .....	81
<b>Figura 16.</b>	Ingreso de cargas gravitacionales y dinámicas .....	82
<b>Figura 17.</b>	Ingreso de combinaciones de carga .....	82
<b>Figura 18.</b>	Ingreso de código de diseño.....	83
<b>Figura 19.</b>	Ingreso de tipo de conexión precalificada.....	84
<b>Figura 20.</b>	Panel de modificación.....	85
<b>Figura 21.</b>	Selección de rigidizadores.....	86

<b>Figura 22.</b>	Obtención de resultados.....	87
<b>Figura 23.</b>	Comportamiento de conexión.....	88

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Conexiones precalificadas.....	13
<b>Tabla 2.</b>	Medidas de precalificación establecidas por AISC 358-16.....	24
<b>Tabla 3.</b>	Tamaño mínimo de soldadura de filete .....	32
<b>Tabla 4.</b>	Espesor mínimo de placa .....	43
<b>Tabla 5.</b>	Resistencia de diseño a cortante .....	45
<b>Tabla 6.</b>	Resistencia de diseño a cortante de la zona panel de la columna.....	45
<b>Tabla 7.</b>	Especificaciones de materiales y cargas.....	49
<b>Tabla 8.</b>	Propiedades de la viga W16x45.....	49
<b>Tabla 9.</b>	Propiedades de la columna W18x143.....	50
<b>Tabla 10.</b>	Medidas de precalificación establecidos por AISC 358-16.....	56
<b>Tabla 11.</b>	Parámetros de diseño preliminar para conexión en viga.....	57
<b>Tabla 12.</b>	Resistencia de diseño .....	74
<b>Tabla 13.</b>	Resultados obtenidos del diseño de la conexión de placa de extremo extendida.....	77
<b>Tabla 14.</b>	Resultados obtenidos por software Ram Connection Standalone .....	88
<b>Tabla 15.</b>	Resultados, diseño de conexión de placa de extremo extendida de 4 pernos .....	89
<b>Tabla 16.</b>	Resultados obtenidos por software Ram Connection Standalone .....	90

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$h_{ci}$	Altura de la columna inferior.
$h_{cs}$	Altura de la columna superior.
$d_{c1}$	Altura de la parte plana del alma de la columna.
$d_1$	Altura de la parte plana del alma de la viga.
$b_p$	Ancho de la placa de extremo.
$b_{cf}$	Ancho del ala de la columna.
$b_{bf}$	Ancho del ala de la viga.
$t_e$	Ancho efectivo del plano de la garganta.
$A_b$	Área bruta nominal del perno.
$A_{gc}$	Área de la sección transversal de la columna.
$A_{we}$	Área efectiva de la soldadura.
$A_n$	Área neta de la placa de extremo.
$P_u$	Carga axial de la columna.
$P_{uc}$	Carga axial de la columna.
$c_m$	Carga muerta.
$c_v$	Carga viva.
$w_u$	Combinación de carga.
$V_c$	Cortante de la columna.
$d_h$	Diámetro de perforación según AISC 360-16.
$d_b$	Diámetro de perno de prueba.
$d_{bp}$	Diámetro de perno de prueba.
$d_{b,req}$	Diámetro requerido para el perno.

$d_e$	Distancia de borde vertical para orificios de pernos exteriores.
$L_{co}$	Distancia de desgarramiento.
$h_1$	Distancia desde el eje del ala a compresión de la viga a cada perno en tensión.
$h_o$	Distancia desde el eje del ala en compresión hasta la última fila de pernos en tensión.
$K_C$	Distancia desde la cara exterior del ala de la columna hasta el borde del filete sobre el alma o el borde de la soldadura de filete sobre el alma.
$s$	Distancia desde la línea central de la hilera de pernos a tracción más interior o más exterior hasta el borde del patrón de una línea de falla.
$L_{claro}$	Distancia entre el claro.
$S_h$	Distancia entre la cara de la columna y la articulación plástica.
$L'$	Distancia entre las rótulas plásticas.
$L_h$	Distancia entre las ubicaciones de articulaciones plásticas.
$g$	Distancia horizontal entre líneas de conectores.
$L_c$	Distancia libre en la dirección de la fuerza, entre el borde de una perforación y el borde de la perforación adyacente o el borde del material.
$h$	Distancia libre entre las alas menos el filete o el radio de esquina para perfiles laminados; o la distancia libre entre las alas para perfiles ensamblados soldados.
$P_{fo}$	Distancia vertical desde la cara exterior de la aleta a tracción de una viga hasta la hilera exterior de pernos más cercana.

$P_{fi}$	Distancia vertical entre el interior del ala de tensión de la viga y la fila interior o exterior de pernos más cercana.
$c$	Distancia vertical entre pernos.
$N$	Ecuación 6.8-24 del AISC 360.
$F_{yp}$	Esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material de la placa de extremo.
$F_{yc}$	Esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material del ala de la columna.
$F_y$	Esfuerzo de fluencia mínimo especificado por el material de la viga.
$F_{uv}$	Esfuerzo mínimo especificado a la tracción del material de la placa.
$F_{nt}$	Esfuerzo nominal de tracción en el perno de acuerdo a la especificación AISC 360.
$t_p$	Espesor de la placa de extremo.
$t_{cf}$	Espesor del ala de la columna.
$t_{bf}$	Espesor del ala de la viga.
$t_{cw}$	Espesor del alma de la columna.
$t_{bw}$	Espesor del alma de la viga.
$t_{p,req}$	Espesor requerido para la placa de extremo.
$f_1$	Factor de carga para cargas vivas definido por el código de construcción aplicable.
$R_y$	Factor de esfuerzo de fluencia probable.
$\phi_d$	Factor de resistencia para estados límites dúctiles.
$\phi_n$	Factor de resistencia para estados límites no dúctiles.
$c_{pr}$	Factor que tiene en cuenta la resistencia máxima de la conexión.

$c_t$	Factor usado en ecuación 6.8-17 del AISC 358-16.
$V_u$	Fuerza cortante en el extremo de la viga.
$V_{gravedad}$	Fuerza cortante en la viga.
$F_{fu}$	Fuerza mayorada en el ala de la viga.
$L_b$	Longitud de la viga.
$L_{cw}$	Longitud del cordón de soldadura.
$E$	Módulo de elasticidad del acero.
$Z_e$	Módulo plástico de la sección de viga.
$Z_{bx}$	Módulo plástico de la sección en relación con el eje x para toda la sección transversal de la columna.
$Z_{cx}$	Módulo plástico de la sección en relación con el eje x para toda la sección transversal de la columna.
$Z_b$	Módulo plástico de sección en el centro de la sección de la viga.
$M_{uv}$	Momento adicional debido a la amplificación por la fuerza cortante desde el centro de la sección reducida de la viga hasta el eje de la columna.
$M_{pc}$	Momento de la columna.
$M_f$	Momento máximo probable en la cara de la columna.
$M_{pr}$	Momento máximo probable en la rótula plástica.
$M_{pb}$	Momentos de la viga.
$n_b$	Número de pernos en el ala a compresión.
$n_i$	Número de pernos interiores.
$Y_p$	Parámetro de mecanismo de línea de falla de la placa de extremo.
$Y_c$	Parámetro del mecanismo de línea de falla del ala de la columna no rigidizada.
$d_c$	Peralte de la columna.

$d$	Peralte de viga.
$w_b$	Peso de la viga.
$F_u$	Resistencia a la tracción mínima especificada del material de la viga.
$F_{up}$	Resistencia a la tracción mínima especificada del material de la placa de extremo o del ala de la columna.
$P_y$	Resistencia axial requerida usando combinaciones de carga LRFD o ASD.
$r_{ni}$	Resistencia de diseño por aplastamiento y desgarramiento.
$F_{EXX}$	Resistencia del cordón de soldadura según el tipo de electrodo.
$F_{nv}$	Resistencia nominal a cortante del perno.
$F_{nw}$	Resistencia nominal del metal de soldadura.
$R_n$	Resistencia nominal.
$F_{su}$	Resistencia para diseño de placas de continuidad.
$R_u$	Resistencia requerida en la zona panel.
$w$	Tamaño nominal de soldadura.



## GLOSARIO

<b>ACI</b>	Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute).
<b>AISC</b>	Instituto Americano de Construcción con Acero (American Institute of Steel Construction).
<b>Columna</b>	Elemento estructural al cual se le transmite carga axial de compresión.
<b>Conexión</b>	Combinación de elementos estructurales tales como vigas o columnas para transmitir cargas entre dos o más elementos.
<b>Factor de resistencia</b>	Coeficiente utilizado para disminuir la resistencia nominal y transformar en resistencia de diseño.
<b>FEMA</b>	Agencia Federal de Manejo de emergencias (Federal Emergency Management Agency).
<b>Fluencia</b>	Estado límite de deformación inelástica que sucede cuando esta ha llegado a la tensión de fluencia.
<b>Longitud efectiva</b>	Longitud de un elemento en compresión con igual resistencia al analizar con sus apoyos extremos articulados.

<b>LRFD</b>	Metodología de diseño por factores de carga y resistencia ( <i>Load and Resistance Factor Design</i> ).
<b>Momento plástico</b>	Momento resistente teórico de una sección que ha fluido completamente.
<b>Predimensionamiento</b>	Escoger un elemento estructural para analizar sus propiedades físicas y mecánicas, antes de realizar un diseño.
<b>Resistencia</b>	Capacidad de resistir carga de un elemento estructural.
<b>Resistencia de diseño</b>	Resistencia nominal que es multiplicada por un factor de resistencia calculado.
<b>Rótula plástica</b>	Zona completamente en fluencia que se forma en un miembro estructural cuando este llega a un momento plástico.
<b>Soldadura de filete</b>	soldadura de tipo sección transversal aproximadamente triangular que une los elementos que se traslapan o interceptan.
<b>Viga</b>	Elemento estructural horizontal cuya función es resistir momentos flectores.

**Zona panel**

Parte del nodo de la conexión viga-columna en la cual se transmite momento a través del corte en la zona panel.



## RESUMEN

El siguiente proyecto de investigación detalla una conexión a momento de placa de extremo extendida de cuatro pernos sin rigidizadores (BUUEEP 4E), la cual se basa en los códigos de diseño ANSI/AISC 360-16, ANSI/AISC 341-16 y ANSI/AISC 358-16. Dichos códigos realizan una guía de pasos para el diseño de la conexión precalificada.

Por otra parte, se utilizó el software Ram Connection en su versión v13 Update (13.7.1.5), basado en el análisis y diseño de conexiones en estructuras de acero. Se ingresó el mismo diseño de la conexión precalificada al software y así mismo se compararon los resultados obtenidos de manera teórica versus los resultados obtenidos por el software.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar el diseño de conexión viga-columna precalificada del código ANSI/AISC 358-16 y su comparación con software Ram Connection.

### **Específicos**

Realizar un análisis de predimensionamiento de la conexión viga-columna de la estructura metálica y ver si esta se encuentra dentro de los límites de precalificación con base en los códigos AISC 360-10, AISC 358-16 y AISC 341-16.

Analizar un diseño teórico de conexión viga-columna precalificada tipo (BUEEP 4E), así como una placa de extremo extendida de cuatro pernos sin rigidizadores, bajo las especificaciones de los códigos AISC 360-10, AISC 358-16 y AISC 341-16.

Analizar el comportamiento de la conexión precalificada aplicando los criterios de los cursos sobre análisis estructural, diseño estructural y estructuras metálicas de la Facultad de Ingeniería, para verificar cómo es el comportamiento de columna fuerte-viga débil.

Diseñar una conexión precalificada en software Ram Connection con los datos obtenidos en el diseño teórico y modelado estructural de la conexión.

Comparar los resultados obtenidos de diseño teórico versus el software Ram Connection y analizar los resultados obtenidos a corte y momento.

## INTRODUCCIÓN

En el terremoto de 1994, en Estados Unidos, inicialmente la industria de la construcción de acero tomó la iniciativa en la investigación de las causas de este daño inesperado y en el desarrollo de recomendaciones de diseño. El Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC) convocó a un comité de tareas especial en marzo de 1994 para recopilar y difundir la información disponible sobre el alcance del problema (AISC, 1994a). Además, junto con una parte privada dedicada a la construcción de un importante edificio de acero en el momento del terremoto, AISC participó en el patrocinio de una serie limitada de pruebas de detalles de conexiones alternativas en la Universidad de Texas en Austin (AISC, 1994b) (FEMA-350, 2000).

El uso de acero en construcción hace ya algunas décadas en Guatemala que es utilizado, es por eso que es importante realizar todos los diseños correspondientes para realizar una buena ingeniería con ello. Guatemala es un país altamente sísmico debido a su configuración topográfica, está ubicado en una zona de subducción donde afectan las placas tectónicas de Norteamérica, Caribe y Cocos.

Los sistemas estructurales en acero hoy en día son ejecutados con mayor frecuencia, ya que, en comparación con sistemas de concreto armado, estos sistemas reducen el tiempo de ejecución, costo, mano de obra, y por lo tanto es más rápido construir.

El diseño para marcos estructurales aplicando el concepto de columna fuerte-viga débil permite que, por medio del diseño, la falla se de en viga y se

tenga una falla local, para así evitar un colapso, así mismo, se da prioridad a proteger vidas y estructuras ante cualquier actividad sísmica.

La metodología de este trabajo contempló el diseño en construcción de una conexión viga-columna precalificada en acero, la cual se desarrolla de forma teórica bajo los códigos de AISC y FEMA, el fin será obtener resultados que cumplan las condiciones de disipar la energía y ductilidad en marcos estructurales resistentes a momentos.

El objetivo principal del diseño de la conexión precalificada es realizar análisis de resultados de forma teórica, versus software de diseño RAM Connection, con la finalidad de que el resultado sea fácil de entender y detallado, para servir como un criterio de diseño más práctico.

# **1. MARCO TEÓRICO**

## **1.1. Código ANSI/AISC 360-16**

El código ANSI/AISC 360-16 proporciona, en la sección J, sobre los elementos de conexión y conectores para las conexiones en acero, el detalle de las provisiones generales, soldaduras, pernos, rellenos, empalmes, fuerzas de carga, bases de columnas, entre otros.

## **1.2. Código ANSI/AISC 358-16**

El código ANSI/AISC 358-16 proporciona especificaciones en predimensionamiento, conceptos de diseño y diseño en conexiones precalificadas a momento, aspectos realizados con base en varios ensayos que se han enfocado directamente en conexiones precalificadas en acero.

## **1.3. Software Ram Connection**

Programa de análisis de conexiones y su diseño en acero para tipos de perfiles W, HSS, entre otros. Tiene la facilidad en el cálculo de las conexiones precalificadas en acero, con base en los códigos ANSI/AISC 358-16, ASD y LRFD. Sirve para diseñar tipos de conexiones a corte, momento, diagonales y de empalme.

#### 1.4. Aceros ASTM 992

Solo cubren perfiles W para usos en la construcción de estructuras metálicas, tienen valores mínimos de  $F_y$  y  $F_u$  de 50 y 65 ksi, respectivamente. También se especifica un límite superior de esfuerzo de fluencia de 65 ksi, una relación máxima entre el esfuerzo de fluencia y el último en tensión de 0.85, y un porcentaje máximo de carbono equivalente especificado de 0.50 %. Además, A992 tiene excelentes características de ductilidad y soldabilidad (Sriramulu, s.f.).

#### 1.5. Clasificación de los sistemas estructurales

Los tipos de sistemas estructurales en acero según ANSI/AISC-16 se clasifican en 2 grupos, para este análisis de estudio será un pórticos no arriostrados especiales (SMF).

**Figura 1.**

*Clasificación de sistemas estructurales*

Sistemas de pórticos a momento	Pórticos no arriostrados ordinarios, OMF
	Pórticos no arriostrados intermedios, IMF
	Pórticos no arriostrados especiales, SMF
	Pórticos no arriostrados especiales con vigas reticuladas, STMF
	Sistemas de columnas ordinarias en voladizo, OCCS
	Sistemas de columnas especiales en voladizo, SCCS

Continuación de la figura 1.

Sistemas de pórticos arriostrados y muros de corte	Pórticos ordinarios arriostrados concéntricamente, OCBF
	Pórticos especiales arriostrados concéntricamente, SCBF
	Pórticos arriostrados excéntricamente, EBF
	Pórticos con riostras de pandeo restringido, BRBF
	Muros de corte especiales con placas de acero, SPSW

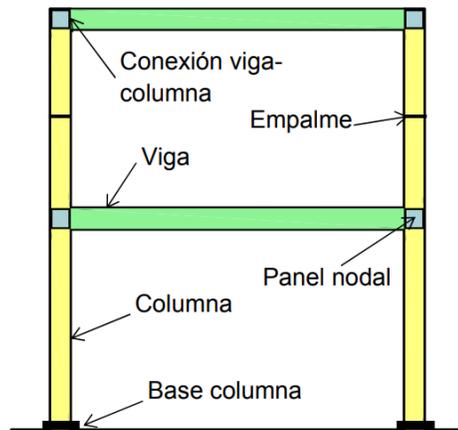
*Nota.* Clasificación de los sistemas estructurales sismorresistentes para construcciones de acero. Obtenido de F. Crisafulli (2018). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero.* (p. 98.) Alacero.

## 1.6. Pórtico no arriostrado

Los pórticos no arriostrados o pórticos resistentes a momento son ensambles rectilíneos de vigas y columnas conectadas entre sí mediante soldaduras, pernos o ambos. Los miembros componentes de estos pórticos quedan sometidos principalmente a momentos flectores y esfuerzos de corte, que controlan su diseño, razón por la que también se los denomina pórticos a momentos. Este tipo estructural se caracteriza por su elevada capacidad de disipación de energía cuando se diseña y construye para tal fin (Crisafulli, 2018).

## Figura 2.

*Partes que conforman el sistema de pórtico no arriostrado*



*Nota.* Clasificación de los sistemas estructurales sismorresistentes para construcciones de acero. Obtenido de F. Crisafulli (2018). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero.* (p. 97.) Alacero.

### 1.7. Pórtico especial resistente a momento (SMF)

Dentro de las características especiales de los pórticos está que el coeficiente de respuesta sísmica ( $R$ ) es alto. Además, estos pórticos tienen la capacidad de disipar la energía por medio de sus componentes estructurales.

Los pórticos generan deformaciones inelásticas, debido a las rótulas plásticas dentro de las vigas y también por poco despreciable rendimiento dentro de la zona panel.

Para llegar a que se cumplan estos parámetros de diseño se debe cumplir el criterio de columna fuerte-viga débil, para que así los momentos de

las columnas sean mayores en comparación del momento de viga, para que se disipe la energía y el pórtico funcione en óptimas condiciones.

### **1.8. Pórtico intermedio resistente a momento (IMF)**

Estos funcionan estructuralmente igual que los pórticos (SMF), con la diferencia que disipan menor energía, la rotación inelástica será más pequeña y se mantendrá el criterio de columna fuerte-viga débil.

### **1.9. Pórtico ordinario resistente a momento (OMF)**

Estos pórticos son diseñados para una capacidad baja que disipa la energía, se recomiendan que sean utilizados en áreas donde la sismicidad es baja. Los pórticos OMF son similares en su análisis a los pórticos de concreto armado, estos están diseñados para niveles de baja ductilidad.

### **1.10. Conexiones simples**

Se identifican por tener una placa conectora únicamente al alma de la viga, se diseñan solo bajo efectos de corte y transmiten momentos despreciables. Este tipo de conexión deberá ser capaz de soportar rotaciones en extremos de las vigas.

La conexión simple no restringe la rotación, se diseña a corte, ya que este es el valor que traslada la viga hacia la columna con placas soldadas, atornilladas en el alma de la viga, así como las placas soldadas.

### 1.11. Conexión a momento

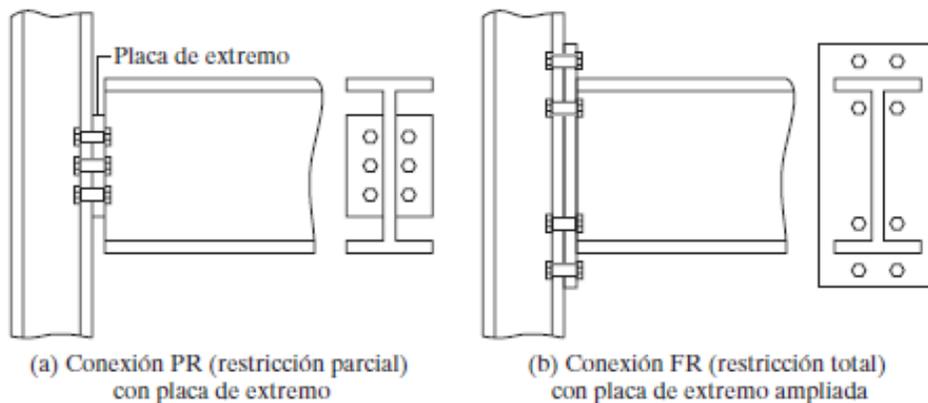
Conexiones que se encuentran empotradas a la columna por medio de unión de pernos y soldaduras, estas se diseñan con el único fin de resistir el efecto de fuerzas gravitacionales y fuerzas cortantes provocadas por la rigidez de la conexión.

Las conexiones precalificadas para marcos no arriostrados se pueden clasificar en 2 tipos:

- Conexión de restricción total (FR)
- Conexión de restricción parcial (PR)

#### Figura 3.

*Tipos de conexiones a momento*



*Nota.* Conexiones con placa de extremo de cortante. Obtenido de J. McCormac y F. Csermak (2012). *Diseño de estructuras de acero.* (p. 547.). Alfaomega Grupo Editor.

### **1.11.1. Conexión de restricción total (FR)**

Es aquella que transmite el momento donde la rotación es despreciable casi cero, su rigidez debe ser suficiente y su resistencia para los estados límites resistentes. No admite la rotación relativa este tipo de conexión.

La conexión debe ser diseñada para soportar esfuerzos de corte y momento. Las cargas y momentos en la viga se transmitirán a la columna.

### **1.11.2. Conexión de restricción parcial (PR)**

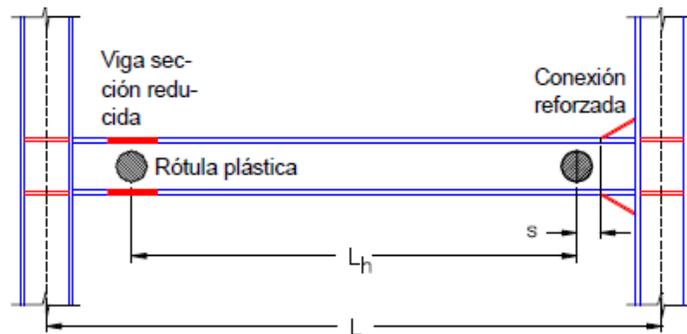
Este tipo de conexiones transmiten momento con la diferencia que la rotación entre sus miembros no es despreciable. Los elementos estructurales deben ser rígidos, resistentes y deformables en los estados límites resistentes.

## **1.12. Rótula plástica**

Estos están referidos a base de varios ensayos realizados por medio de la AISC 358-16, la cual determina la distancia  $S_h$ , este valor será distinto para cualquier tipo de condición precalificada, ya que la absorción de energía permite que tenga una rotación que generará una deformación a la viga y esto provocará una flexión.

## Figura 4.

### Ubicación de rótulas plásticas



*Nota.* Ubicación de rótulas plásticas en vigas con distinto tipo de conexiones. Obtenido de F. Crisafulli (2018). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero.* (p. 108.) Alacero.

### 1.13. Momento plástico

Se define el momento plástico cuando todas las secciones transversales han alcanzado su límite elástico, el momento plástico es cuando a la sección de la viga después de alcanzar el momento máximo se le comienza a generar más momento y una parte específica de la viga se comienza a plastificar, dando así origen a una rótula plástica.

### 1.14. Momento máximo probable en la rótula plástica

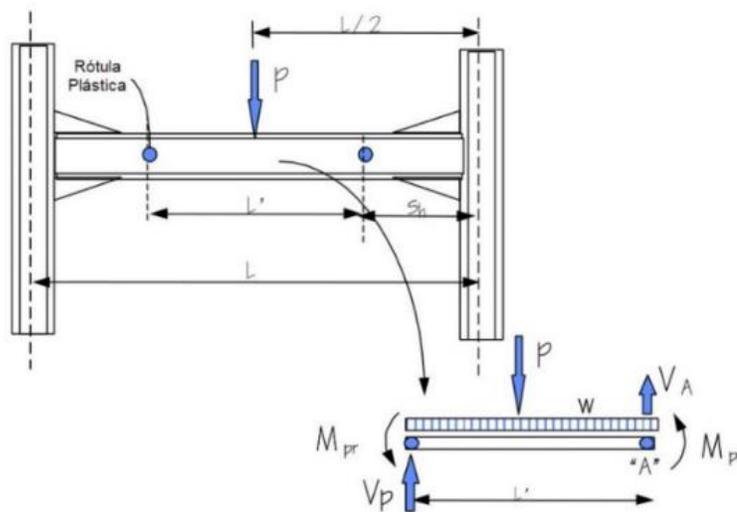
Es el momento máximo que se produce en la rótula plástica y la finalidad de este es una conservación de momento máximo que se originará de la conexión precalificada.

### 1.15. Cortante máximo en la rótula plástica

Por medio de los conceptos de análisis estructural donde se tendrá el diagrama de corte, la fuerza de corte mayor se produce en los extremos de la viga, esta se obtiene con un diagrama de cuerpo libre utilizando la luz de la viga y las rótulas plásticas determinadas.

**Figura 5.**

*Fuerza de corte en la rótula plástica*



*Nota.* Determine Strength Demands at Each Critical. Obtenido de FEMA-350. (2000). *Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings.* (p. 3-8.)

### 1.16. Resistencia a corte requerida de la viga

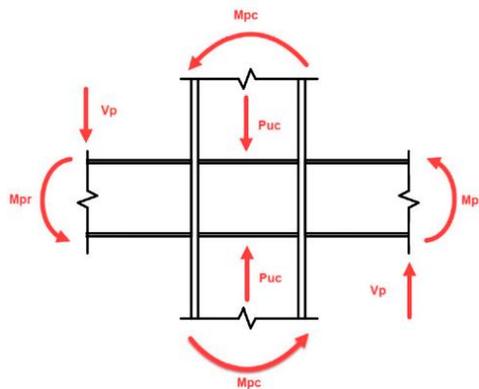
La resistencia a corte es obtenida por medio de los dos resultados en el cortante máximo de la rótula plástica, esto con la finalidad de ser más conservadores a la hora de elegir fuerzas más críticas.

### 1.17. Criterio de columna fuerte-viga débil

Los momentos de las columnas deberán ser mayores a los momentos producidos por las vigas, para que por seguridad falle primero la viga y no la columna.

#### Figura 6.

*Concentración de fuerzas y momentos*



*Nota.* Para establecer concepto de columna fuerte-viga débil. Ubicación de rótulas plásticas en vigas con distinto tipo de conexiones. Adaptado de B. Brito (2018). *Diseño y construcción de una conexión a momento con formación de rótula plástica de acero ASTM A 36.* (p. 34.)

### 1.18. Placas de continuidad

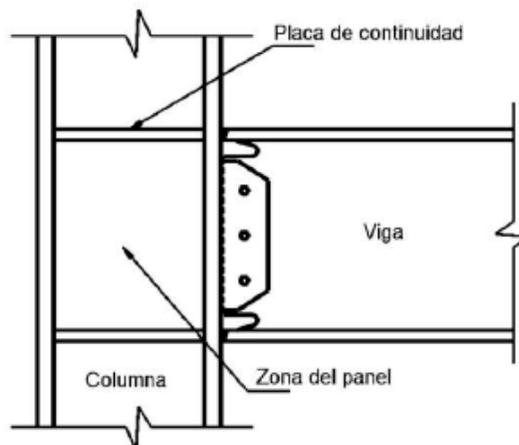
Son rigidizantes diseñados para transmitir cargas de compresión y tensión que luego serán enviados a la columna, los rigidizantes están ubicados entre las alas de la columna y se calculan dependiendo del tipo de conexión precalificada bajo la normativa del código AISC 358-16.

### 1.19. Zona de panel

Es una zona que se genera entre las alas de la columna y los rigidizantes, los momentos transmitidos por las vigas y las columnas generarán una leve flexibilidad, esto depende del tipo de conexión, para ver si estas necesitan un refuerzo en dicha zona.

#### Figura 7.

*Ubicación de zona panel*



*Nota.* Zona panel. Obtenido de J. Pirir (2017). *Consideraciones para el diseño estructural de edificios de acero, utilizando marcos especiales a momento (SMF) y marcos especiales con breizas concéntricas (SCBF).* (p. 55.)

### 1.20. Diseños de conexiones precalificadas en Guatemala

En Guatemala el diseño de columnas precalificadas es muy importante, ya que hoy en día es de mucha tendencia en la construcción de estructura metálica, se está incrementando en procesos constructivos, con tiempos reducidos en comparación a las estructuras de concreto reforzado.

Lamentablemente el único código utilizado es el de AGIES, en su apartado 7.5, sobre diseño de edificaciones de acero, pero no hay suficiente información referente al diseño de conexiones precalificadas, se carece de códigos estructurales en Guatemala y es por eso que se debe optar por códigos internacionales, en este caso el código AISC 358s1-16 (American Institute of Steel Construction, 2016).

La implementación de software en nuevas tendencias de diseño estructural es adecuada para garantizar efectividad, seguridad y sobre todo diseño, y parte de desarrollar este tema es dejar un estudio que ayude a la población estudiantil de la Facultad de Ingeniería Civil.

Guatemala tiene mucha demanda de trabajo en estructuras metálicas, hay muchas empresas que hoy en día tienen unos proyectos en acero admirables, siendo esto un estudio de beneficio.

#### **1.21. Conexiones precalificadas AISC 358-16**

Las conexiones precalificadas garantizan que son confiables ya que han sido desarrolladas después del terremoto de Northridge, California, en 1994, a base de varios ensayos realizados por la AISC.

**Tabla 1.** Conexiones precalificadas

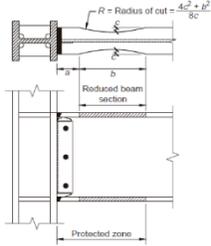
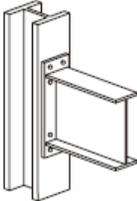
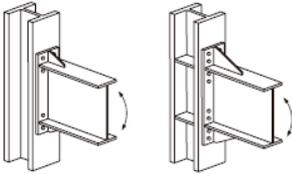
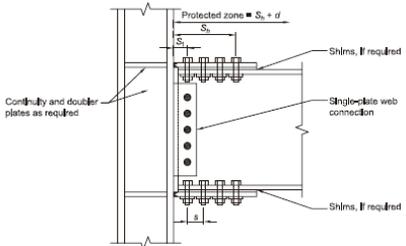
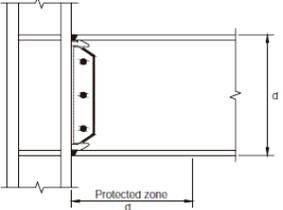
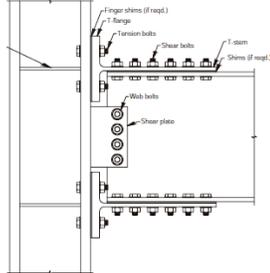
CATEGORIA	DESCRIPCION DE LA CONEXIÓN	ABREVIATURA	SISTEMA PERMITIDO
SOLDADA Y TOTALMENTE RESTRINGIDA	Welded Unreinforced Flanges, Bolted Web Alas Soldadas No Reforzadas-Alma Apenada	WUF-B	OMF
	Welded Unreinforced Flange, Welded Web Alas Soldadas No Reforzadas-Alma Soldada	WUF-W	OMF, SMF
	Free Flange Ala Libre	FF	OMF, SMF
	Welded Flange Plate Placa Soldada al Ala	WFP	OMF, SMF
	Reduced Beam Section Viga de Sección Reducida	RBS	OMF, SMF
APERNA DA TOTALMENTE RESTRINGIDA	Bolted, Unstiffened End Plate Placa Extrema Apenada No-Atiesada	BUEP	OMF, SMF
	Bolted, Stiffened End Plate Placa Extrema Apenada Atiesada	BSEP	OMF, SMF
	Bolted Flange Plates Placas Apenadas a las Alas	BFP	OMF, SMF
APERNA DA PARCIALMENTE RESTRINGIDA	Double Split Tee Doble T Cortada	DST	OMF, SMF

*Nota.* Conexiones calificadas. Obtenido de L. Cardoso (2014). *Diseño de conexiones precalificadas bajo AISC para Pórticos Resistentes a Momento.* (p.10.)

La conexión a utilizar depende de lo que el diseñador desee elegir, ya que todas cumplen satisfactoriamente como conexiones precalificadas, actualmente en el código existen las conexiones que se detallan a continuación y su ubicación en el código (American Institute of Steel Construction, 2016).

**Figura 8.**

*Conexiones precalificadas a momento*

CONEXIONES PRECALIFICADAS AISC 358-16	
<p>Capítulo 5 Viga de sección reducida (RBS)</p> 	<p>Capítulo 6 Placa de extremo extendida Sin rigidizar (BUEEP)</p> 
<p>Capítulo 6 Placa de extremo extendida rigidizada</p> 	<p>Capítulo 7 Placas atornilladas a las alas</p> 
<p>Capítulo 8 Alas no reforzadas soldadas-alma soldada</p> 	<p>Capítulo 13 Doble T</p> 

*Nota.* Conexiones precalificadas a momento. Obtenido de ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications, including supplement.* (s.p.)

## **2. DISEÑO DE CONEXIÓN VIGA-COLUMNA PRECALIFICADA (BUEEP 4E) DEL CÓDIGO ANSI/AISC 358-16**

Esta conexión actualmente está siendo diseñada y fabricada en construcciones en la ciudad de Guatemala. La conexión precalificada se encuentra en el código ANSI/AISC 358-16 en el capítulo 6, es un tipo de configuración de placa de extremo extendida no rigidizada.

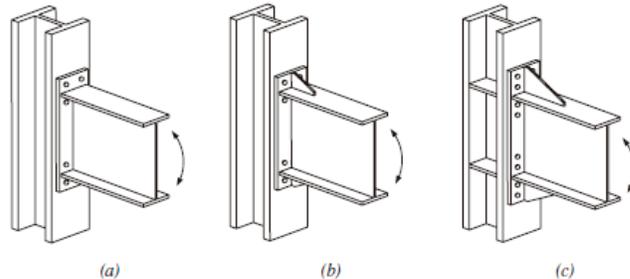
Esta conexión tendrá diferentes límites de precalificación para su geometría: la fluencia que genera por flexión en la viga, en la columna su zona panel, ruptura debido a la tensión en los pernos y ruptura por corte en los pernos.

El código AISC ofrece varios criterios en el diseño, y es por ello que los elementos estructurales aseguran que la conexión sea lo suficientemente estable ante los comportamientos sísmicos que puedan ocurrir en ella.

La conexión a estudiar será el tipo (a) que se muestra en la figura 10 de este documento:

## Figura 9.

### Conexión precalificada de placa de extremo no rigidizada



*Nota.* Bolted unstiffened and stiffened extended end-plate moment connections. Obtenido de ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, including Supplement No.1.* (p. 9.2-21.)

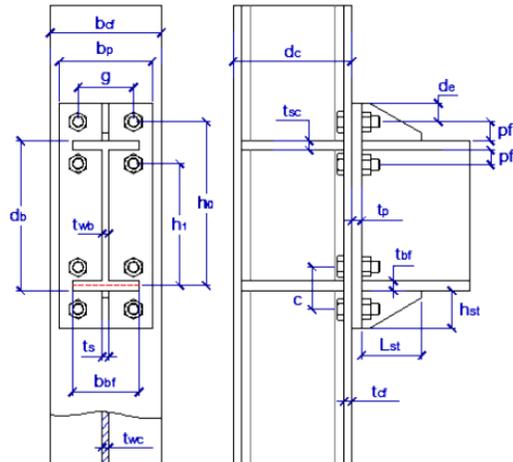
- Excepción:

El tipo de conexión a momento con placa frontal extendida, y las losas estructurales que son de concreto, serán precalificados si se encuentran bajo estos términos:

- Además de las limitaciones paramétricas de la precalificación de la figura 12, no debe ser menor de 24 pulgadas (600 mm) el peralte de la viga.
- En el peralte de la viga no se debe tener conectores que tengan una longitud de 1.5 veces, medida que da de la cara de la aleta de la columna conectada.
- Debe quedar separada la losa estructural de concreto, por lo menos 25 mm (1 pulg.) de cada cara de las alas de la columna. (Se puede ubicar un material comprensible dentro de dicha junta entre las alas de la columna y su losa estructural).

**Figura 10.**

*Placa de extremo a cuatro pernos rigidizada (BUEEP 4E)*



*Nota.* Placa extremo a cuatro pernos sin rigidizar (4E). Obtenido de C. Lenin (2014). *Diseño de conexiones precalificadas bajo AISC para pórticos resistentes a momento.* (p. 52.)

## 2.1. Límites de precalificación

Los límites de precalificación serán aplicados a la viga y también a la columna en análisis, deberán estar entre los rangos que se describen a continuación, todo esto argumentado con base en el código AISC 358-16 en su capítulo 6:

### 2.1.1. Límites para vigas

- Las vigas deben ser miembros laminados de aleta ancha o miembros ensamblados en I que cumplan los requisitos de la sección 2.3 del AISC 358-16. En los extremos conectados a momento de las secciones ensambladas soldadas, a una distancia al menos igual al peralte de la viga o tres veces el ancho del ala, lo que sea menor, el alma y las alas

de la viga deben conectarse mediante una soldadura acanalada de penetración completa (CJP) o un par de soldaduras de filete, cada una con un tamaño del 75 % del espesor del alma de la viga, pero no inferior a 6 mm ( $\frac{1}{4}$  in.). Para el resto de la viga, el tamaño de la soldadura no debe ser menor que el requerido para llevar a cabo la transferencia de cortante del alma a las alas.

- El peralte de la viga,  $d$ , debe restringirse a los valores de la figura 12.
- No hay límite para el peso por unidad de longitud de las vigas.
- El espesor de la aleta de la viga se limitará a los valores mostrados en la figura 12.
- La relación luz libre y peralte de viga se debe limitar de la forma siguiente:
  - Sistema SMF, mayor o igual que 7.
  - Sistema IMF, mayor o igual que 5.
- Las relaciones ancho/espesor de las alas y el alma de la viga deben estar entre los rangos de las provisiones sísmicas del AISC 341-16 (D1.1b).
- Se proporcionará arriostre horizontal para las vigas según las provisiones sísmicas del AISC 341-16 (D1.2b).
- La zona protegida se determinará a continuación:
  - Para conexiones de placa de extremo extendidas sin rigidizadores: la parte de la viga entre la cara de la columna y una distancia igual al peralte de la viga o tres veces el ancho del ala de la viga, lo que sea menor siendo medido desde dicha cara.
  - Para conexiones de placa extrema extendidas con rigidizadores: la parte de la viga entre la cara de la columna y una distancia igual a la ubicación del extremo del rigidizador, más la mitad de

la profundidad de la viga o tres veces el ancho del ala de la viga, el que sea menor.

### **2.1.2. Límites para columnas**

Las columnas deberán realizar las siguientes limitaciones:

- Los perfiles de columna se deben mantener entre perfiles laminados o secciones ensambladas con base en la sección 2.3 del AISC 358-16.
- La placa de extremo se conectará al ala de la columna.
- El peralte de la sección transversal de una columna laminada está restringido como máximo un perfil del tipo W920 (W36). El peralte de una columna de aleta ancha ensamblada no debe sobrepasar la de una sección laminada.
- Las relaciones ancho/espesor de las aletas y el alma de la columna deben cumplir con los requisitos de las provisiones sísmicas del AISC 341-16 (D1.1b).
- El arriostre horizontal de la columna deberá contemplar con los requisitos a las provisiones sísmicas del AISC 341-16 (D1.2b).

### **2.1.3. Límites para las relaciones entre los parámetros de la columna y de la viga**

Las conexiones viga-columna deben regir a las limitaciones:

- Ajustar la zona panel a los requerimientos de provisiones sísmicas del AISC 341-16 (E3.6e).
- La relación de momento en viga y momento en columna se ajustarán a las provisiones sísmicas del AISC 341-16 (E3. 4a).

## 2.2. Conexión a momento de placa de extremo extendida sin rigidizar (BUEEP 4E)

Para considerar el tema de la conexión a momento de placa de extremo extendida sin rigidizar se deben hacer estos chequeos preliminares:

### 2.2.1. Chequeo preliminar a la viga

Peralte máximo de la viga:

$$d \leq 140.00 \text{ cm}$$

Espesor de la aleta de viga:

$$t_{bf} \leq 1.91 \text{ cm}$$

Relación entre luz y peralte de viga:

$$\frac{L_b}{d} \geq 7 \text{ (SMF)} \quad \text{Ec. 1}$$

Relación ancho-espesor del aleta y alma conforme los requisitos de tabla D1.1 del AISC 341-16.

Ala:

$$\frac{b}{t} = \frac{b_{bf}}{2t_{bf}} \leq 0.32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$t_{bf}$  = espesor del ala de la viga, mm

$b_{bf}$  = ancho del ala de la viga, mm

$E$  = módulo de elasticidad, Mpa

$R_y$  = factor de esfuerzo de fluencia probable

$F_y$  = esfuerzo de fluencia mínimo, Mpa

Alma:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d_1}{t_{bw}} \leq 2.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$d_1$  = altura de la parte plana del alma de la viga, mm

$t_{bw}$  = espesor del ama de la viga, mm

$E$  = módulo de elasticidad, Mpa

$R_y$  = factor de esfuerzo de fluencia probable

$F_y$  = esfuerzo de fluencia mínimo, Mpa

### 2.2.2. Chequeo preliminar para la columna:

Peralte máximo en la columna:

$$d \leq 92.00 \text{ cm}$$

Relación ancho-espesor de aleta y alma conforme los requisitos de tabla D1.1 del AISC 341-16.

$$\frac{b}{t} = \frac{b_{bf}}{2t_{bf}} \leq 0.32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$t_{bf}$  = espesor del ala de la viga, mm

$b_{bf}$  = ancho del ala de la viga, mm

$E$  = módulo de elasticidad, Mpa

$R_y$  = factor de esfuerzo de fluencia probable

$F_y$  = esfuerzo de fluencia mínimo, Mpa

Alma:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d_{c1}}{t_{cw}} \leq 2.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1 - 1.04 C_a) \quad \text{Ec. 5}$$

$$C_a = \frac{P_{uc}}{\phi_c R_y F_y A_g} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

$d_{c1}$  = altura de la parte plana del alma de la columna, mm

$t_{cw}$  = espesor del ama de la columna, mm

$E$  = módulo de elasticidad, Mpa

$R_y$  = factor de esfuerzo de fluencia probable

$F_y$  = esfuerzo de fluencia mínimo, MPa

$P_{uc}$  = carga axial de la columna, N

$A_g$  = área de la sección transversal de la columna, mm<sup>2</sup>

$\phi_c$  = 0.90

Conforme al AISC 358-16, en el capítulo 6, se realizarán una serie de pasos para el diseño en la conexión precalificada:

### 2.2.3. Diseño de la placa de extremo y pernos

- Paso 1. Determinar las dimensiones de los miembros a conectar (vigas y columna) y calcular el momento en la cara de la columna,  $M_f$ .

$$M_f = M_{pr} + V_u * S_h \quad \text{Ec. 7}$$

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravedad} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$L_h$  = distancia entre las ubicaciones de articulaciones plásticas, mm.

$M_{pr}$  = momento máximo probable en la articulación plástica, N-mm.

$S_h$  = distancia entre la cara de la columna y la articulación plástica, mm.

= el menor valor entre  $\frac{d}{2}$  y  $3b_{bf}$  para una conexión sin rigidizadores (4E).

$V_{gravedad}$  = fuerza cortante en la viga resultante de la combinación  $1.2D + f_1L + 0.2G$  (donde  $f_1$  es el factor de carga para cargas vivas definidas por el código de construcción aplicable, pero no menos de 0.5), N.

$V_u$  = fuerza cortante en el extremo de la viga, N.

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L_h} + V_{gravedad} \quad \text{Ec. 9}$$

$b_{bf}$  = ancho del ala de la viga, mm

$d$  = peralte de la viga que se conecta, mm

- Paso 2. Seleccionar una de las tres configuraciones de conexiones a momento con placa de extremo y establecer valores preliminares para la geometría de la conexión ( $g, p_{fi}, p_{fo}, p_b, h_i, etc$ ) que se muestra en la figura y la calidad del perno.

**Tabla 2.**

*Medidas de precalificación establecidas por AISC 358-16*

Parameter	Four-Bolt Unstiffened (4E)		Four-Bolt Stiffened (4ES)		Eight-Bolt Stiffened (8ES)	
	Maximum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maximum in. (mm)	Minimum in. (mm)	Maximum in. (mm)	Minimum in. (mm)
$t_{bf}$	¾ (19)	¾ (10)	¾ (19)	¾ (10)	1 (25)	¾ (14)
$b_{bf}$	9¼ (235)	6 (152)	9 (229)	6 (152)	12¼ (311)	7½ (190)
$d$	55 (1400)	13¾ (349)	24 (610)	13¾ (349)	36 (914)	18 (457)
$t_p$	2¼ (57)	½ (13)	1½ (38)	½ (13)	2½ (64)	¾ (19)
$b_p$	10¾ (273)	7 (178)	10¾ (273)	7 (178)	15 (381)	9 (229)
$g$	6 (152)	4 (102)	6 (152)	3¼ (83)	6 (152)	5 (127)
$p_{fi}, p_{fo}$	4½ (114)	1½ (38)	5½ (140)	1¾ (44)	2 (51)	1½ (41)
$p_b$	—	—	—	—	3¼ (95)	3½ (89)

$b_{bf}$  = width of beam flange, in. (mm)  
 $b_p$  = width of end-plate, in. (mm)  
 $d$  = depth of connecting beam, in. (mm)  
 $g$  = horizontal distance between bolts, in. (mm)  
 $p_b$  = vertical distance between the inner and outer row of bolts in an 8ES connection, in. (mm)  
 $p_{fi}$  = vertical distance from the inside of a beam tension flange to the nearest inside bolt row, in. (mm)  
 $p_{fo}$  = vertical distance from the outside of a beam tension flange to the nearest outside bolt row, in. (mm)  
 $t_{bf}$  = thickness of beam flange, in. (mm)  
 $t_p$  = thickness of end-plate, in. (mm)

*Nota.* Table 6.1: Parametric limitations on prequalification. Obtenido de ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, including Supplement No.1.* (p. 9.2-23.)

- Paso 3. Cálculo para diámetro requerido de perno,  $d_{b,req}$ .

$$d_{b,req} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi\phi_n F_{nt}(h_0 + h_1)}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$h_0 = d_b + p_{fo} - \frac{t_{bf}}{2} \quad \text{Ec. 11}$$

$$h_1 = d_b - p_{fi} - \frac{3t_{bf}}{2} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

$F_{nt}$  = resistencia nominal a la tracción del perno, Mpa.

$M_f$  = momento máximo probable en la cara de la columna, N-mm.

$h_1$  = distancia entre la línea media del ala a compresión de la viga y la línea central de la i-ésima hielera de pernos a tracción, mm.

$h_0$  = distancia entre la línea media del ala a compresión y la hilera exterior de pernos en el lado a tracción, mm.

$p_{fi}, p_{fo}$  = distancia vertical entre el interior del ala de tensión de la viga y la fila interior o exterior de pernos más cercana, respectivamente, mm.

$d_b$  = peralte de la viga, mm.

$t_{bf}$  = espesor del ala de la viga, mm.

$\phi_n$  = 0.90.

- Paso 4. Utilizar un diámetro de perno de prueba,  $d_b$ , que no sea menor que el requerido en el paso 3.

$$d_b \geq d_{b,req}$$

- Paso 5. Cálculo de espesor requerido para placa de extremo,  $t_{p,req}$ .

$$t_{p,req} = \sqrt{\frac{1.11M_f}{\phi_d F_{yp} Y_p}} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

$F_{yp}$  = esfuerzo de fluencia mínimo de la placa de extremo, MPa.

$Y_p$  = parámetro del mecanismo de línea de falla de la placa de extremo según la tabla 10, mm.

$M_f$  = momento máximo probable en la cara de la columna, N-mm.

$\phi_d$  = 1.00.

**Figura 11.**

*Resumen del parámetro de mecanismo de línea de fluencia*

<b>TABLE 6.2</b>	
<b>Summary of Four-Bolt Extended Unstiffened End-Plate Yield Line Mechanism Parameter</b>	
End-Plate Geometry and Yield Line Pattern	Bolt Force Model
<b>End-Plate</b>	$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{p_{\#}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{p_{to}} - \frac{1}{2} \right) \right] + \frac{2}{g} [h_1 (p_{\#} + s)]$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} \quad \text{Note: If } p_{\#} > s, \text{ use } p_{\#} = s.$

*Nota.* Placa de extremo no rigidizada extendida de cuatro pernos. Obtenido de ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified connections for special and Intermediate steel moment frames for seismic applications, including supplement No.1.* (p. 9.2-31.)

- Paso 6. Seleccionar un espesor de placa de extremo,  $t_p$ , no menor que el valor requerido calculado en el paso 5.

$$t_p \geq t_{p,req}$$

- Paso 7. Cálculo de fuerza mayorada en la aleta de la viga,  $F_{fu}$ .

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d - t_{bf}} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

$M_f$  = momento máximo probable en la cara de la columna, N-mm

$d$  = peralte de la viga, mm

$t_{bf}$  = espesor del ala de la viga, mm

- Paso 8. Verificar la fluencia a corte de una parte extendida de la placa de extremo de cuatro pernos sin rigidizadores:

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi_d R_n = \phi_d (0.6) F_{yp} b_p t_p \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

$b_p$  = ancho de la placa de extremo, mm, que debe considerarse como un máximo igual al ancho del ala de la viga más 25 mm (1 in).

$t_p$  = espesor de placa de extremo, mm.

$F_{fu}$  = fuerza mayorada en el ala de la viga, N.

$F_{yp}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material de la placa de extremo, Mpa.

$\phi_d$  = 1.0.

Si no se cumple la ecuación 18, aumentar el espesor de la placa o utilizar un material con esfuerzo de fluencia más alto.

- Paso 9. Verificar la rotura por corte de la parte extendida de la placa de extremo extendida sin rigidizador:

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi_n R_n = \phi_n (0.6) F_{up} A_n \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

$A_n$  = área neta de la placa de extremo.

$= A_n = t_p \left[ b_p - 2 \left( d_b + \frac{1}{8} \right) \right]$  cuando se usen perforaciones estandar, *in*<sup>2</sup>

$= A_n = t_p [b_p - 2(d_b + 3)]$  cuando se usen perforaciones estandar, *in*<sup>2</sup>.

$F_{fu}$  = resistencia a la tracción mínima especificada de la placa de extremo, MPa.

$d_b$  = diámetro del perno, mm.

$F_{up}$  = fuerza mayorada en el ala de la viga, N.

$\phi_n = 0.90$ .

Si no se cumple la ecuación 15, aumentar el espesor de la placa de extremo o utilizar material con esfuerzo de fluencia más grande.

- Paso 10. La resistencia de la conexión por rotura del perno a corte es proporcionada por los pernos en un ala (el ala de compresión); Entonces:

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n (n_b) F_{nv} A_b \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

$A_b$  = área bruta nominal del perno,  $mm^2$ .

$F_{nv}$  = resistencia nominal a cortante del perno, Mpa.

$V_u$  = fuerza cortante en el extremo de la viga, N, dada por la ecuación 14.

$n_b$  = número de pernos en el ala a compresión (4E), 4.

$\phi_n$  = 0.90.

- Paso 11. Verificar la falla por aplastamiento y desgarramiento debido a la concentración de fuerzas producidas por los pernos en la placa de extremo y en el ala de la columna:

$$V_n = \phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no} \quad \text{Ec. 18}$$

Donde

$F_{up}$  = resistencia a la tracción mínima especificada del material de la placa de extremo o del ala de la columna, MPa.

$L_c$  = distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde de una perforación y el borde de la perforación adyacente o el borde del material, mm.

$d_b$  = diámetro del perno, mm.

$n_i$  = número de pernos interiores, 2.

$n_o$  = número de pernos exteriores, 2.

$r_{ni} = 1.2L_c t F_{up} < 2.4d_b t F_{up}$  para cada perno interior.

$r_{no} = 1.2L_c t F_{up} < 2.4d_b t F_{up}$  para cada perno exterior.

$t$  = espesor de la placa de extremo o del ala de la columna, mm.

$\phi_n$  = 0.90.

- Paso 12. Diseñar la soldadura del alma de la viga a la placa de extremo.

La soldadura de la viga a la placa de extremo debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- No utilizar agujeros de acceso para soldadura.
- La unión entre el ala de la viga y la placa de extremo debe realizarse utilizando una soldadura de acanalada CJP sin respaldo. La soldadura de acanalada CJP debe realizarse de modo que la raíz de la soldadura esté en el lado del ala asociada con el alma de la viga. La cara interior del ala debe tener una soldadura de filete de 8 mm (5/16 in.). Estas soldaduras tendrán una demanda crítica.
- La unión entre el alma de la viga y la placa de extremo debe realizarse utilizando soldaduras de filete o soldaduras acanaladas CJP. Cuando se utilizan soldaduras de filete, deben dimensionarse para desarrollar toda la resistencia del alma de la viga en tracción desde la cara interior del ala hasta 150 mm (6 in) más allá de la línea de pernos más alejada del ala de la viga.
- No es necesario quitar el metal de soldadura de la raíz en la zona del ala localizada directamente arriba y debajo del alma de la viga, sobre una longitud de  $1.5k_1$ . En esta zona se permite una soldadura acanalada PJP sobre la profundidad total.
- Todas las uniones entre las placas de extremos y los rigidizadores deben realizarse con soldaduras acanaladas CJP.

Excepción: cuando el rigidizador tenga 10 mm de espesor o menos, se permite el uso de soldaduras de filete que desarrollen la resistencia del rigidizador.

Soldadura del alma de la viga a la placa extremo de acuerdo al AISC 360: J2-5:

$$V_u = \phi F_{nw} * A_{we} = 0.75(0.6F_{exx}) * (t_e * l_{cw}) \quad Ec. 19$$

Entonces:

$$w = \frac{V_u}{[0.75(0.6F_{exx}) * (0.707 * l_{cw})]} \quad Ec. 20$$

$A_{we}$  = área efectiva de la soldadura,  $mm^2$ .

$F_{nw}$  = resistencia nominal del metal de soldadura,  $Mpa$ .

$F_{nw} = 0.6 F_{exx}$ .

$F_{exx}$  = resistencia del cordón de soldadura según el tipo de electrodo,  $Kg/cm^2$ .

$\phi = 0.75$ .

$t_e$  = ancho efectivo del plano de la garganta.

$t_e = \text{sen}45 * w = 0.707w$  (SMAW).

$l_{cw}$  = longitud de cordón de soldadura,  $mm$ .

$w$  = tamaño nominal de soldadura,  $mm$ .

De acuerdo al AISC 360-16, el tamaño mínimo de la soldadura debe ser como se muestra en la siguiente tabla:

### Tabla 3.

#### Tamaño mínimo de soldadura de filete

TABLA J2.4 Tamaño Mínimo de Soldadura de Filete	
Espesor de parte unida más delgada, mm	Tamaño mínimo de soldadura de filete <sup>[a]</sup> , mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Mayor que 19	8

<sup>[a]</sup> Dimensión del pie de la soldadura de filete. Se deben utilizar soldaduras de paso simple.  
Nota: Ver la Sección J2.2b para el tamaño máximo de soldaduras de filete.

Nota. Tabla J2.4: tamaño mínimo de soldadura de filete. Obtenido de *ANSI/AISC 360-16* (2016). *Specification for structural steel buildings*. (p. 16.1-119.)

#### 2.2.4. Diseño del lado de la columna

- Paso 1. Verificar la aleta de la columna para fluencia por flexión:

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11M_f}{\phi_d F_{yc} Y_c}} \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

$F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material del ala de la columna, MPa.

$M_f$  = momento máximo probable en la cara de la columna, N-mm.

$Y_c$  = parámetro del mecanismo de línea de falla del ala de la columna no rigidizada según la figura 15, mm.

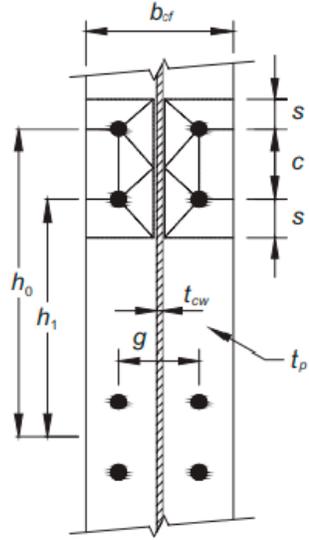
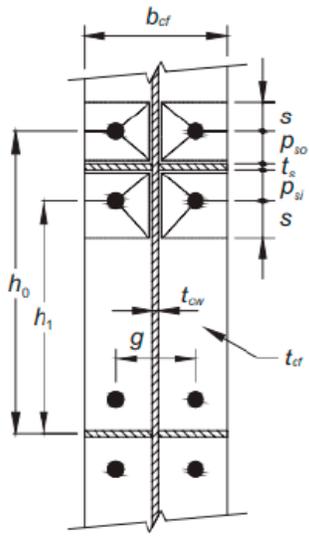
$t_{cf}$  = espesor del ala de la columna, mm.

$\phi_d$  = 1.0.



**Figura 13.**

*Resumen de los parámetros del mecanismo de línea de falla de la aleta*

Geometría y patrón de la línea de falla de la aleta de una columna no rigidizada	Geometría y patrón de la línea de falla de la aleta de una columna rigidizada
	
Aleta de columna no rigidizada	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{s} \right) + h_o \left( \frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[ h_1 \left( s + \frac{3c}{4} \right) + h_o \left( s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^2}{2} \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g}$
Aleta de columna rigidizada	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{si}} \right) + h_o \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{p_{so}} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[ h_1 (s + p_{si}) + h_o (s + p_{so}) \right]$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g}$ <p style="text-align: right;">Nota: Si <math>p_{si} &gt; s</math>, úsese <math>p_{si} = s</math></p>

*Nota.* Aleta de la columna en una conexión de placa de extremo extendida de cuatro pernos (4E y 4ES). Obtenido de ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications, including supplement No. 1.* (p. 9.2-32.)

Si los cálculos de la ecuación 20 no cumplen, entonces aumentar la sección de la columna o agregar placas de continuidad.

- Paso 2. Si se necesitan placas de continuidad debido a la fluencia por flexión de la aleta de la columna, calcular la fuerza necesaria para el rigidizador.

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

$$\phi_d M_{cf} = \phi_d F_{yc} Y_c t_{cf}^2 \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

$Y_c$  es el parámetro del mecanismo de línea de falla de la columna no rigidizada de la figura 16. Por lo tanto, la fuerza de diseño equivalente del ala de la columna es:

$$\phi_d R_n = \frac{\phi_d M_{cf}}{(d - t_{bf})} \quad \text{Ec. 23}$$

Usando  $\phi_d R_n$ , la fuerza requerida para el diseño de la placa de continuidad se determina de acuerdo al paso 6.

Donde:

$F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material del ala de la columna, MPa.

$t_{bf}$  = espesor del ala de la viga, mm.

$Y_c$  = parámetro del mecanismo de línea de falla del ala de la columna no rigidizada según la figura 16.

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

$\phi_d$  = 1.0.

- Paso 3. Chequear la resistencia a fluencia local del alma de la columna, para el alma de la columna sin rigidizador, en las aletas de viga.

Requisito de resistencia:

$$F_{fu} \leq \phi_d R_n \quad \text{Ec. 24}$$

$$R_n = C_t(6k_c + t_{bf} + 2t_p)F_{yc}t_{cw} \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

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

= 1.0 para otros casos.

$F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material del alma de la columna, MPa.

$k_c$  = distancia desde la cara exterior del ala de la columna hasta el borde del filete sobre el alma (valor de diseño) o el borde de la soldadura de filete sobre el alma, mm.

$t_{cw}$  = espesor del alma de la columna, mm.

Si los cálculos de resistencia de la ecuación 23 no cumplen, entonces se necesitarán placas de continuidad para el alma de la columna.

- Paso 4. Chequear la resistencia a pandeo del alma de la columna, para el alma de la columna sin rigidizador, en la aleta a compresión de la viga.

Requisito de resistencia:

$$F_{fu} \leq \phi R_n \quad \text{Ec. 26}$$

Donde  $\phi = 0.75$

- Cuando  $F_{fu}$  se aplica a una distancia mayor o igual que  $\frac{d_c}{2}$  desde el extremo de la columna:

$$R_n = \frac{24t_{cw}^3 \sqrt{EF_{yc}}}{h} \quad \text{Ec. 27}$$

- Cuando  $F_{fu}$  se aplica a una distancia menor de  $\frac{d_c}{2}$  desde el extremo de la columna:

$$R_n = \frac{12t_{cw}^3 \sqrt{EF_{yc}}}{h} \quad \text{Ec. 28}$$

Donde

$F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material del ala de la columna, Mpa.

$E$  = módulo de elasticidad del acero, Mpa.

$t_{cw}$  = espesor del alma de la columna, mm.

$F_{fu}$  = fuerza mayorada en el ala de la viga, N.

$h$  = distancia libre entre las alas menos el filete o el radio de esquina para perfiles laminados; o la distancia libre entre las alas para perfiles ensamblados soldados, mm.

$\phi_d$  = 1.0.

Si los cálculos en la ecuación 25 no cumplen, entonces se requerirán placas de continuidad en el alma de la columna.

- Paso 5. Verificar la resistencia al arrugamiento del alma de la columna, para el alma de la columna sin rigidizador, en el ala a compresión de la viga.

Requisito de resistencia:

$$F_{fu} \leq \phi R_n \quad \text{Ec. 29}$$

Donde  $\phi = 0.75$

- Cuando  $F_{fu}$  se aplica a una distancia mayor o igual que  $\frac{d_c}{2}$  desde el extremo de la columna:

$$R_n = 0.80t_{cw}^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d_c} \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yc}t_{cf}}{t_{cw}}} \quad \text{Ec. 30}$$

- Cuando  $F_{fu}$  se aplica a una distancia menor de  $\frac{d_c}{2}$  desde el extremo de la columna:

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

$$R_n = 0.40t_{cw}^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d_c} \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yc}t_{cf}}{t_{cw}}} \quad \text{Ec. 31}$$

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

$$R_n = 0.40t_{cw}^2 \left[ 1 + \left( \frac{4N}{d_c} - 0.2 \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{EF_{yc}t_{cf}}{t_{cw}}} \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

$N = b_f + 2w + 2t_p$ , mm.

$d_c$  = peralte de la columna, mm.

$E$  = módulo de elasticidad del acero, Mpa.

$F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material del alma de la columna, MPa.

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

$t_{cw}$  = espesor del alma de la columna, mm.

Si los cálculos de resistencia de la ecuación 28 no se cumplen, entonces se requerirán placas de continuidad en el alma de la columna.

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

$$F_{su} \leq F_{fu} - \min(\phi R_n) \quad \text{Ec. 33}$$

Donde  $\min(\phi R_n)$  es el mínimo entre los valores de resistencia de diseño de la ecuación 9, paso 2 (flexión del ala de la columna), paso 3 (fluencia del alma de la columna), paso 4 (pandeo del alma de la columna) y paso 5 (arrugamiento del alma de la columna).

- Paso 7. Verificar los límites de la relación entre los parámetros de la columna y de la viga.

### 2.2.5. Chequeos a la zona panel

Se realiza la revisión de zona panel para la revisión en la parte interna de la junta viga-columna en la conexión precalificada.

$$V_c = \frac{2(M_f)}{h_{cs} + h_{ci}} \quad \text{Ec. 34}$$

$$R_u = \frac{M_f}{d_b - t_{bf}} - V_c \quad \text{Ec. 35}$$

$$\phi R_n = \phi * 0.6 * F_{yc} * d_c * t_{cw} \left( 1 + \frac{3b_{cf} * t_{cf}^2}{d_b * d_c * t_{cw}} \right) \quad \text{Ec. 36}$$

$$\phi R_n \geq R_u \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

$V_c$  = cortante de la columna, N.

$R_u$  = resistencia requerida en la zona de panel, N.

$d_c$  = peralte de la columna, mm.

$d_b$  = peralte de la viga, mm.

$M_f$  = momento en la cara de la columna, N-mm.

$F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material del alma de la columna, Mpa.

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

$t_{cw}$  = espesor del alma de la columna, mm.

$b_{cf}$  = ancho del ala de la columna, mm.

$h_{cs}$  = altura de la columna superior, mm.

$h_{ci}$  = altura de la columna inferior, mm.

Si la fuerza solicitante es mayor que la resistencia, se debe colocar una placa (rigidizador) en la zona de panel, como se indica en la sección 2.2.4.5 del AISC 358-16.

### 2.2.6. Revisión de la relación de los momentos viga-columna

Se realiza el criterio de revisión en los momentos para poder considerar el criterio columna fuerte – viga débil:

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_{cx} \left( F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_{gc}} \right) \quad \text{Ec. 38}$$

$$\sum M_{uv} = \sum V_u \left( S_h + \frac{d_c}{2} \right) \quad \text{Ec. 39}$$

$$\sum M_{pb}^* = \sum M_{pr} + \sum M_{uv} \quad \text{Ec. 40}$$

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1 \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

$\sum M_{pc}^*$  = sumatoria de momentos de la columna, N-mm.

$\sum M_{pb}^*$  = sumatoria de momentos de la viga, N-mm.

$Z_{cx}$  = módulo plástico de la sección en relación con el eje x para toda la sección transversal de la columna, mm<sup>3</sup>.

$M_{pr}$  = momento máximo probable en la rótula plástica, N-mm.

$S_h$  = distancia entre la cara de la columna y la articulación plástica, mm.

$V_u$  = fuerza cortante en el extremo de la viga, N.

$F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material de la columna. Mpa.

$P_{uc}$  = carga axial de la columna. N.

$A_{gc}$  = área de la sección transversal de la columna,  $mm^2$ .

$d_c$  = peralte de la columna, mm.

### 2.2.7. Diseño de las placas de continuidad

- Ancho de la placa de continuidad

La guía 3 práctica para el diseño de estructuras de acero de la NEC-15 hace mención del ancho mínimo de un rigidizador, el cual se obtiene de:

$$b_{cp(min)} \geq \frac{b_{cf}}{3} - \frac{t_{cw}}{2} ; b_{cp(min)} \geq \frac{b_{bf}}{3} - \frac{t_{cw}}{2} \quad Ec. 42$$

Por lo general, el ancho del rigidizador se coloca en el borde del ala de la viga o columna, por lo que el requisito anterior se convierte de manera más conservadora en:

$$b_{cp(min)} \geq \frac{b_{cf}}{2} - \frac{t_{cw}}{2}$$

$$b_{cp(min)} \geq \frac{b_{bf}}{2} - \frac{t_{cw}}{2}$$

Donde:

$b_{bf}$  = ancho del ala de la viga, mm

$t_{cw}$  = espesor del alma de la columna, mm

$b_{cf}$  = ancho del ala de la columna, mm

- Espesor de la placa

Para este aspecto se recomienda observar los datos que contiene la tabla que aparece en la siguiente página:

**Tabla 4.**

*Espesor mínimo de placa*

Conexión	Espesor
Columna Conectada por una sola viga en un sentido	$t_{cp} > 50 \% t_{bf}$
Columna conectada por dos vigas en un sentido	$t_{cp} > 75 \% t_{bf}$

*Nota.* Espesor mínimo de placa AISC 341-16 (E3.6f.2b). Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Donde:

$t_{bf}$  = espesor del alma de la viga, mm

$t_{cp}$  = espesor de la placa, mm

Espesor requerido según lo estipulado en la guía de diseño 13 del AISC [26].

$$t_{cp-req} = 0.004b_{cp}\sqrt{F_{yp}} \quad Ec. 43$$

Donde:

$b_{cp}$  = ancho de la placa, mm.

$F_{yp}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material de la placa, Mpa.

### 2.2.8. Soldadura

Las placas de continuidad deben soldarse a la columna con soldaduras de penetración completa (CJP). Sin embargo, en el alma se puede utilizar la soldadura de filete.

- Resistencia de diseño AISC 341-16 (E3.6f.2c)

Resistencia de diseño a tensión de las áreas de contacto de las placas de continuidad con las alas de la columna que se tienen conectadas a las alas de las vigas:

$$\phi R_n = \phi F_{yc} * 2 * l_{cf} * t_{cp} \quad Ec. 44$$

Donde:

$l_{cf}$  = longitud de contacto de la placa de continuidad y el ala de la columna, mm.

$t_{cp}$  = espesor de la placa, mm.

$F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material de la columna, Mpa.

**Tabla 5.***Resistencia de diseño a cortante*

Caso	$\phi V_n; \phi = 1$
$P_u \leq 0.4P_y$	$\phi * 0.6 * F_y * l_{cw} * t_{cp}$
$P_u > 0.4P_y$	$\phi * 0.6 * F_y * l_{cw} * t_{cp} \left( 1.4 - \frac{P_u}{P_y} \right)$

*Nota.* Resistencia de diseño a cortante del área de contacto de la placa con el alma de la columna AISC 360-16 (J10-6). Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

**Tabla 6.***Resistencia de diseño a cortante de la zona panel de la columna*

caso	$\phi V_n; \phi = 1$
$P_u \leq 0.75P_y$	$\phi * 0.6 * F_y * d_c * t_{cw} \left( 1 + \frac{3b_{cf} * t_{cf}^2}{d_b * d_c * t_{cw}} \right)$
$P_u > 0.75P_y$	$\phi * 0.6 * F_y * d_c * t_{cw} \left( 1 + \frac{3b_{cf} * t_{cf}^2}{d_b * d_c * t_{cw}} \right) \left( 1.9 + \frac{1.2P_u}{P_y} \right)$

*Nota.* Resistencia de diseño a cortante de la zona panel de la columna AISC 360-16 (J10-6). Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

$$V_u \leq \phi R'_n$$

Donde:

$l_{cw}$  = longitud de contacto de la placa de continuidad y el alma de la columna, mm.

$d_c$  = peralte de la columna, mm.

$d_b$  = peralte de la viga, mm.

- $b_{bf}$  = ancho del ala de la viga, mm.
- $t_{cf}$  = ancho del ala de la columna, mm.
- $t_{cp}$  = ancho de la placa, mm.
- $b_{cf}$  = ancho del ala de la columna, mm.
- $F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material de la columna, Mpa.
- $P_u$  = carga axial de la columna, N.
- $P_y = (A_{gc} * F_{yc}), N.$
- $A_{gc}$  = área de la sección transversal de la columna,  $mm^2$ .
- $V_u$  = carga última, N.

- Tamaño de la soldadura

De acuerdo al AISC 360: J2-5:

$$V_u = \phi F_{nw} * A_{we} = 0.75(0.6F_{EXX}) * (t_e * l_{cw}) \quad Ec. 45$$

Entonces:

$$w = \frac{V_u}{[0.75(0.6F_{EXX}) * (0.707 * l_{cw})]} \quad Ec. 46$$

- $A_{we}$  = área efectiva de la soldadura,  $mm^2$ .
- $F_{nw}$  = resistencia nominal del metal de soldadura, *Mpa*.
- $F_{nw} = 0.6F_{EXX}$ .
- $F_{EXX}$  = resistencia del cordón de soldadura según el tipo de electrodo, *Kg/cm2*.
- $\phi = 0.75$ .
- $t_e$  = ancho efectivo del plano de la garganta.

$t_e = \text{sen}45 * w = 0.707w$  (SMAW).

$l_{cw}$  = longitud de cordón de soldadura, mm.

$w$  = tamaño nominal de soldadura, mm.

### 2.2.9. Diseño de las placas de refuerzo en la zona de panel

- Dimensiones de la placa (rigidizador)

Altura de la zona de panel entre placas de continuidad:

$$d_z = d - 2t_{cp} \quad \text{Ec. 47}$$

Ancho de la zona de panel entre alas de la columna:

$$w_z = d_c - 2t_{cf} \quad \text{Ec. 48}$$

Espesor de la placa (rigidizador):

$$t' \geq \frac{d_z + w_z}{90} \quad \text{Ec. 49}$$

Donde:

$t' = t_{cw}$  espesor del alma de la columna

- Espesor de la placa de refuerzo

El espesor de la placa de refuerzo se calcula mediante la expresión utilizada para el cálculo de resistencia de diseño de fluencia por cortante del

alma de la zona del panel, igualando dicha resistencia a la solicitud máxima y despejando el espesor, pero la expresión  $t_w$  debe reemplazarse por  $t_{cw} + t_{pe}$ .

$$\phi R_n = \phi * 0.6 * F_{yc} * d_c * (t_{cw} + t_{pe}) \left( 1 + \frac{3b_{cf} * t_{cf}^2}{d_b * d_c * (t_{cw} + t_{pe})} \right) = R_u$$

Despejando el espesor de la placa de refuerzo:

$$t_{pe} = \frac{R_u}{\phi * 0.6 * F_{yc} * d_c} - \frac{3b_{cf} * t_{cf}^2}{d_b * d_c} - t_{cw}$$

Espesor requerido según lo estipulado en la guía de diseño 13 del AISC [26].

$$t_{p-req} = 0.0009 * w_z \sqrt{F_{yp} (Mpa)} \quad \text{Ec. 50}$$

Donde:

$d_c$  = peralte de la columna, mm.

$d_b$  = peralte de la viga, mm.

$t_{cf}$  = ancho del ala de la columna, mm.

$t_{cp}$  = ancho de la placa, mm.

$b_{cf}$  = ancho del ala de la columna, mm.

$F_{yc}$  = esfuerzo de fluencia mínimo especificado del material de la columna, Mpa.

### 3. DISEÑO DE CONEXIÓN PRECALIFICADA DE PLACA DE EXTREMO EXTENDIDA DE CUATRO PERNOS SIN RIGIDIZADORES (BUEEP 4E)

**Tabla 7.**

*Especificaciones de materiales y cargas*

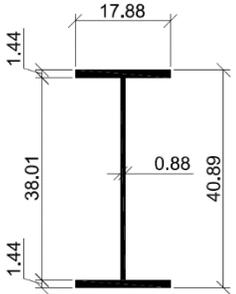
CARGAS	ASTM A36	ASTM A572 Gr. 50	A325-N
$C_M = 1800 \frac{Kg}{m}$	$F_y = 2530 \frac{Kg}{cm^2}$	$F_y = 3515 \frac{Kg}{cm^2}$	$F_y = 6320 \frac{Kg}{cm^2}$
$C_v = 1500 \frac{Kg}{m}$	$F_y = 4077 \frac{Kg}{cm^2}$	$F_y = 4570 \frac{Kg}{cm^2}$	$F_y = 3800 \frac{Kg}{cm^2}$
$P_u = 40,000 kg$	$R_y = 1.5$	$R_y = 1.1$	
$L_{libre} = 6 m$			

*Nota.* Especificaciones de materiales y cargas derivadas de un análisis estructural. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

**Tabla 8.**

*Propiedades de la viga W16x45*

Propiedades de la viga			
Perfil	W 16 x 45		
Propiedad		Valor	Unidad
Peralte o altura	$d$	40.89	cm
Altura de la parte plana del alma	$d_1$	34.61	cm
Espesor del alma	$t_{bw}$	0.88	cm
Ancho del ala	$b_{bf}$	17.88	cm
Espesor del ala	$t_{bf}$	1.44	cm
Módulo de sección plástico	$Z_x$	1348.66	cm <sup>3</sup>
Peso	$W_b$	66.95	kg/m
Longitud	$L_b$	6	m

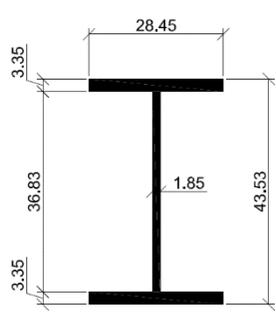


**VIGA  
PERFIL W 16 X 45**

*Nota.* Tablas de propiedades de perfiles AISC 2013. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word y AutoCAD.

**Tabla 9.***Propiedades de la columna W18x143*

Propiedades de la columna			
Perfil	W 18 x 143		
Propiedad		Valor	Unidad
Peralte o altura	$d_c$	49.53	cm
Altura de la parte plana del alma	$d_{c1}$	38.42	cm
Espesor del alma	$t_{cw}$	1.85	cm
Ancho del ala	$b_{cf}$	28.45	cm
Espesor del ala	$t_{cf}$	3.35	cm
Módulo de sección plástico	$Z_x$	5276.63	cm <sup>3</sup>
Peso	$W_b$	177.80	kg/m
Longitud	$L_c$	3.50	m
Área de la columna	$A_{gc}$	271.61	cm <sup>2</sup>



**COLUMNA  
PERFIL W 18 X 143**

*Nota.* Tablas de propiedades de perfiles AISC 2013. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word y AutoCAD

- Revisión preliminar

Las conexiones deben cumplir con los límites de precalificación para vigas y columnas establecidos en la sección 1.1.3.14 de este trabajo, los mismos que están de acuerdo al AISC 358-16.

### 3.1. Límites de precalificación

Se verificarán los límites de precalificación para chequear los elementos estructurales y así mismo cumplir con toda su geometría.

#### 3.1.1. Chequeo preliminar a la viga

- Peralte máximo de viga (W 16 x 45):

$$d = 40.89 \text{ cm} \leq 140.00 \text{ cm}$$

- Espesor del ala de la viga:

$$b_{bf} = 1.44 \text{ cm} \leq 1.91 \text{ cm}$$

- Relación entre luz y peralte de la viga:

$$\frac{L_b}{d} = \frac{6m}{0.41} = 14.97 \geq 7 \text{ (SMF)} \quad \text{Ec. 1}$$

Relación ancho-espesor de la aleta y el alma conforme los requisitos de tabla D1.1 del AISC 341-16.

Ala:

$$\frac{b}{t} = \frac{b_{bf}}{2t_{bf}} \leq 0.32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad \text{Ec. 2}$$

$$\frac{17.88}{2 (1.44 \text{ cm})} \leq 0.32 \sqrt{\frac{2.039 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1.5 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}}$$

$$6.21 \leq 7.42 \rightarrow \text{chequea!}$$

Alma:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d_1}{t_{bw}} \leq 2.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad \text{Ec. 3}$$

$$\frac{34.61 \text{ cm}}{0.88 \text{ cm}} \leq 2.57 \sqrt{\frac{2.039 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1.5 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}}$$

$$39.33 \leq 59.57 \rightarrow \text{chequea!}$$

### 3.1.2. Chequeo preliminar para la columna

Peralte máximo en la columna (W 18 x 119):

$$d = 49.53 \text{ cm} \leq 92.00 \text{ cm}$$

Relación ancho-espesor de la aleta y el alma conforme los requisitos de tabla D1.1 del AISC 341-16.

Ala:

$$\frac{b}{t} = \frac{b_{cf}}{2t_{cf}} \leq 0.32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \quad \text{Ec. 51}$$

$$\frac{28.45}{2 (3.35 \text{ cm})} \leq 0.32 \sqrt{\frac{2.039 \times 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{1.5 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}}$$

$$4.25 \leq 7.42 \rightarrow \text{chequea!}$$

Alma:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d_{c1}}{t_{cw}} \leq 2.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1 - 1.04 C_a) \quad \text{Ec. 5}$$

$$C_a = \frac{40,000 \text{ kg}}{0.90 * 1.5 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 271.61 \text{ cm}^2} = 0.043 \quad \text{Ec. 6}$$

$$23.77 \leq 56.89 \rightarrow \text{chequea!}$$

Conforme al AISC 358-16, en el capítulo 6 se realizarán una serie de pasos para el diseño en la conexión precalificada:

### 3.1.3. Diseño de la placa de extremo y pernos

- Paso 1. Calcule el momento en la cara de la columna,  $M_f$ .

Combinación de carga:

$$W_u = 1.2CM + 1.6 CV$$

$$W_u = 1.2 \left( 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) + 1.6 \left( 1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right)$$

$$W_u = 4560 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Ubicación de la rótula plástica,  $S_h$ :

$$S_{h(\min)} = \frac{d}{2}; 3b_{bf}$$

$$S_{h(\min)} = \frac{40.89}{2} = 20.45 \text{ cm}$$

$$3b_{bf} = 3 * 17.88 \text{ cm} = 53.64 \text{ cm}$$

Se escoge el menor de los 2 cálculos:

$$S_h = 20.45 \text{ cm}$$

Entonces se usará:

$$S_h = 20.00 \text{ cm}$$

Distancia entre rótulas plásticas,  $L'$ :

$$L' = L_b - 2 * \frac{d_c}{2} - 2 * S_h$$
$$L' = 6 \text{ m} - 2 * \frac{0.49}{2} - 2(0.20 \text{ cm})$$
$$L' = 5.10 \text{ m}$$

Momento máximo probable de la viga en la rótula plástica,  $M_{pr}$

$$C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y} \leq 1.2$$
$$C_{pr} = \frac{2530 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 4077 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{2(2530 \frac{\text{kg}}{\text{m}})} \leq 1.2$$

$$C_{pr} = 1.31 \leq 1.2$$

Gobierna:

$$C_{pr} \approx 1.2$$

$$M_{pr} = C_{pr} * R_y * F_y * Z_{bx}$$
$$M_{pr} = 1.2 * 1.5 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 5276.63 \text{ cm}^3$$

$$M_{pr} = 24,029,773.02 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$M_{pr} = 240,297.73 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M_{pr} = 240.30 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Fuerza cortante en la cara de la columna:

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L'} + \frac{W_u L'}{2} \quad \text{Ec. 8}$$

$$V_u = \frac{2(61,417.77 \text{ kg}\cdot\text{m})}{5.10 \text{ m}} + \frac{(4560 \frac{\text{kg}}{\text{m}})(5.10\text{m})}{2}$$

$$V_u = 35,713.40 \text{ kg}$$

$$V'_u = \frac{2M_{pr}}{L'} - \frac{W_u L'}{2} \quad \text{Ec. 8}$$

$$V'_u = \frac{2(61,417.77 \text{ kg}\cdot\text{m})}{5.10 \text{ m}} - \frac{(4560 \frac{\text{kg}}{\text{m}})(5.10\text{m})}{2}$$

$$V'_u = 12,457.40 \text{ kg}$$

Momento en la columna:

$$M_f = M_{pr} + V_u * S_h \quad \text{Ec. 52}$$

$$M_f = (61,417.77 \text{ kg}\cdot\text{m}) + (35,713.40 \text{ kg}) * (0.20 \text{ m})$$

$$M_f = 68,560.45 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$M'_f = M_{pr} + V'_u * S_h \quad \text{Ec. 7}$$

$$M'_f = (61,417.77 \text{ kg}\cdot\text{m}) + (12,457.40) * (0.20 \text{ m})$$

$$M_f = 63,909.25 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

- Paso 2. Seleccionar la configuración de la conexión y establecer los valores preliminares para la geometría de la conexión.

Tipo de conexión: 4E (sin rigidizadores).

Valores geométricos preliminares:

La conexión debe cumplir con los límites geométricos por la tabla 6.1 de AISC 358-16 que se muestra a continuación:

**Tabla 10.**

*Medidas de precalificación establecidos por AISC 358-16*

<b>TABLE 6.1 Parametric Limitations on Prequalification</b>						
	<b>Four-Bolt Unstiffened (4E)</b>		<b>Four-Bolt Stiffened (4ES)</b>		<b>Eight-Bolt Stiffened (8ES)</b>	
<b>Parameter</b>	<b>Maximum in. (mm)</b>	<b>Minimum in. (mm)</b>	<b>Maximum in. (mm)</b>	<b>Minimum in. (mm)</b>	<b>Maximum in. (mm)</b>	<b>Minimum in. (mm)</b>
$t_{bf}$	$\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{8}$ (10)	$\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{3}{8}$ (10)	1 (25)	$\frac{9}{16}$ (14)
$b_{bf}$	$9\frac{1}{4}$ (235)	6 (152)	9 (229)	6 (152)	$12\frac{1}{4}$ (311)	$7\frac{1}{2}$ (190)
$d$	55 (1400)	$13\frac{3}{4}$ (349)	24 (610)	$13\frac{3}{4}$ (349)	36 (914)	18 (457)
$t_p$	$2\frac{1}{4}$ (57)	$\frac{1}{2}$ (13)	$1\frac{1}{2}$ (38)	$\frac{1}{2}$ (13)	$2\frac{1}{2}$ (64)	$\frac{3}{4}$ (19)
$b_p$	$10\frac{3}{4}$ (273)	7 (178)	$10\frac{3}{4}$ (273)	7 (178)	15 (381)	9 (229)
$g$	6 (152)	4 (102)	6 (152)	$3\frac{1}{4}$ (83)	6 (152)	5 (127)
$p_{fi}, p_{fo}$	$4\frac{1}{2}$ (114)	$1\frac{1}{2}$ (38)	$5\frac{1}{2}$ (140)	$1\frac{3}{4}$ (44)	2 (51)	$1\frac{5}{8}$ (41)
$p_b$	—	—	—	—	$3\frac{3}{4}$ (95)	$3\frac{1}{2}$ (89)

*Nota.* Table 6.1: parametric limitations on prequalification. Obtenido de ANSI/AISC 358-16 (2016). *Prequalified connections for special and intermediate steel moment frames for seismic applications, including supplement No.1.* (p. 9.2-23.)

**Tabla 11.***Parámetros de diseño preliminar para conexión en viga*

Cuatro pernos sin rigidizadores (4E)				
Parámetro	Máximo (mm)	Mínimo (mm)	Valor escogido (mm)	Chequea
$t_{bf}$	110	10	14.40	SI
$b_{bf}$	235	152	178.80	SI
$d$	1400	349	408.90	SI
$t_p$	57	13	34.90	SI
$b_p$	273	178	220	SI
$g$	152	102	140	SI
$p_{fi}, P_{fo}$	114	38	60	SI

*Nota.* Tablas de propiedades de perfiles AISC 2013. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Ancho  $b_p$ :

$$b_p = b_{bf} + 2.54 \text{ cm}$$

$$b_p = 17.88 + 2.54 \text{ cm}$$

$$b_p = 20.38 \text{ cm} \rightarrow \text{usaré}$$

$$b_p = 23.00 \text{ cm}$$

Distancia vertical entre el interior del ala de tensión de la viga y la fila interior o exterior de pernos más cercana, respectivamente:

$$p_{fi} = p_{fo} = 6 \text{ cm}$$

Distancia desde el eje del ala en compresión hasta la última fila de pernos en tensión:

$$h_0 = d_b + p_{fo} - \frac{t_{bf}}{2} \quad \text{Ec. 11}$$

$$h_0 = 40.89 \text{ cm} + 6 \text{ cm} - \frac{1.44 \text{ cm}}{2}$$

$$h_0 = 46.17 \text{ cm}$$

Distancia desde el eje del ala a compresión de la viga a cada perno en tensión:

$$h_1 = d_b - p_{fi} - \frac{3t_{bf}}{2} \quad \text{Ec. 12}$$

$$h_1 = 40.89 \text{ cm} - 6 \text{ cm} - \frac{3(1.44 \text{ cm})}{2}$$

$$h_1 = 32.73 \text{ cm}$$

Distancia vertical entre pernos:

$$c = p_{fi} + t_{bf} + p_{fo}$$

$$c = 6 \text{ cm} + 1.44 \text{ cm} + 6 \text{ cm}$$

$$c = 13.44 \text{ cm}$$

- Paso 3: cálculo para diámetro requerido de perno,  $d_{b,req}$ .

$$d_{b,req} = \sqrt{\frac{2M_f}{\pi \Phi_n F_{nt} (h_0 + h_1)}} \quad \text{Ec. 10}$$

$$d_{b,req} = \sqrt{\frac{2(68,560.45 \text{ kg}\cdot\text{m}) \left(\frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}}\right)}{(\pi)(0.75)(6320 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})(46.17 \text{ cm} + 32.73 \text{ cm})}}$$

$$d_{b,req} = 3.42 \text{ cm}$$

- Paso 4. Utilizar un diámetro de perno de prueba,  $d_{bp}$ .

Se usará  $d_{bp} = 1\frac{3}{8} \approx 3.49 \text{ cm}$

$$d_{bp} \geq d_{b,req}$$

$$3.49 \text{ cm} \geq 3.42 \text{ cm} \rightarrow \text{chequea}$$

Según AISC 358-16 Secc. 6.7.2  $p_{fi}$  y  $p_{fo}$ , deben ser iguales o mayores ( $d_{bp} + 1.9 \text{ cm}$ .)

$$d_{bp} + 1.9 = 3.49 \text{ cm} + 1.9 \text{ cm} = 5.39 \text{ cm}$$

$$p_{fi} \geq d_{bp} + 1.9$$

$$6 \geq 5.39 \rightarrow \text{chequea}$$

- Paso 5. Cálculo de espesor requerido para placa de extremo,  $t_{p,req}$ .

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_p g} = \frac{1}{2} \sqrt{20.42 \text{ cm} + 14 \text{ cm}} = 8.45 \text{ cm}$$

Chequeos para  $p_{fi}$ :

$$\text{si } p_{fi} > s, \text{ usar } p'_{fi} = s$$

$$6 \text{ cm} > 8.14 \text{ cm} \rightarrow \text{usaré}$$

$$p'_{fi} = 6 \text{ cm}$$

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{p'_{fi}} + \frac{1}{s} \right) + h_0 \left( \frac{1}{p_{fo}} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{g} [h_1(p'_{fi} + s)]$$

$$Y_p = \frac{20.42}{2} \left[ 32.73 \left( \frac{1}{6} + \frac{1}{8.45} \right) + 46.17 \left( \frac{1}{6} \right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{2}{14} [32.73(6 + 8.14)]$$

$$Y_p = 236.27 \text{ cm}$$

$$t_{p,req} = \sqrt{\frac{1.11M_f}{\phi_a F_{yp} Y_p}}$$

Ec. 13

$$t_{p,req} = \sqrt{\frac{1.11(68,560.45 \text{ kg}\cdot\text{m}) \left( \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)}{(1) * \left( 3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * (236.27 \text{ cm})}}$$

$$t_{p,req} = 3.03 \text{ cm}$$

- Paso 6. Seleccionar un espesor de placa de extremo,  $t_p$ , no menor que el valor requerido calculado en el paso 5.

$$t_p \geq t_{p,req}$$

$$3.49 \text{ cm} \geq 3.46 \text{ cm} \rightarrow \text{chequea}$$

Flexión en fluencia:

$$\phi M_{np} = \frac{t_{p,req}^2 \phi_b F_{yp} Y_p}{1.11}$$

$$\phi M_{np} = \frac{\left[ 1 \frac{3}{8} \text{ plg} * \left( \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ plg}} \right) \right]^2 * 0.90 * 3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 236.27 \text{ cm}}{1.11}$$

$$\phi M_{np} = 8,213,462.35 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$\phi M_{np} = 82.13 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Momento resistente en pernos sin efecto de palanca:

para ASTM 325 usar 90 ksi

$$90,000 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} * \left( \frac{1 \text{ kg}}{2.21 \text{ lb}} \right) * \left( \frac{1 \text{ plg}}{2.54 \text{ cm}} \right)^2 = 6,312.23 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$P = F_t A_b = F_t \left( \frac{\pi d_b^2}{4} \right)$$

$$P = \left( 6,312.23 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) * \left[ \frac{\pi * \left( 1 \frac{3}{8} \text{ plg} * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ plg}} \right)^2}{4} \right]$$

$$P = 60,470.77 \text{ kg}$$

$$P = 60.47 \text{ ton}$$

$$M_{np} = \phi 2P(h_0 + h_1)$$

$$\phi M_{np} = (0.75)(2)(6470.77 \text{ kg})(46.17 \text{ cm} + 32.73 \text{ cm})$$

$$\phi M_{np} = 7,156,715.63 \text{ kg}\cdot\text{cm}$$

$$\phi M_{np} = 71.56 \text{ ton}\cdot\text{m}$$

Corte en los pernos:

$$V_u = 35,713.40 \text{ kg (calculado anteriormente)}$$

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

$$\phi_n R_n = (0.75)(4)(3800) \left[ \frac{\pi * \left( 1 \frac{3}{8} plg * \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ plg}} \right)^2}{4} \right]$$

$$\phi_n R_n = 109,211.29 \text{ kg}$$

$$\phi_n R_n = 109.21 \text{ Ton}$$

$$V_u \leq \phi_n R_n$$

$$35,713.40 \text{ kg} \leq 109,211.29 \text{ kg} \rightarrow \text{chequea}$$

- Paso 7. Cálculo de fuerza mayorada en la aleta de la viga,  $F_{fu}$ :

$$F_{fu} = \frac{M_f}{d - t_{bf}} \quad \text{Ec. 53}$$

$$F_{fu} = \frac{68,560.45 \text{ kg} - m * \left( \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)}{40.89 \text{ cm} - 1.44 \text{ cm}}$$

$$F_{fu} = 173,779.16 \text{ kg}$$

- Paso 8. Verificar la fluencia a corte de una parte extendida de la placa de extremo de cuatro pernos sin rigidizadores:

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi_d R_n = \phi_d (0.6) F_{yp} b_p t_p \quad \text{Ec. 15}$$

$$\phi_d R_n = 0.90 * 0.6 * 3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 23 \text{ cm} * 3.49 \text{ cm}$$

$$\phi_d R_n = 152,469,627.80 \text{ kg}$$

$$\phi_d R_n = 152.47 \text{ ton}$$

$$\frac{F_{fu}}{2} = \frac{173,779.16 \text{ kg}}{2} = 86,889.58 \text{ kg}$$

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi_d R_n$$

$$86,889.58 \text{ kg} \leq 152,469,627.80 \text{ kg} \rightarrow \text{chequea}$$

- Paso 9. Verificar la rotura por corte de la parte extendida de la placa de extremo extendida sin rigidizador:

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi_n R_n = \phi_n (0.6) F_{up} A_n \quad \text{Ec. 16}$$

$$A_n = t_p [b_p - 2(d_{bp} + 0.3)]$$

$$A_n = 3.49 \text{ cm} * [23.00 \text{ cm} - 2(3.49 \text{ cm} + 0.3)]$$

$$A_n = 53.84 \text{ cm}^2$$

$$\phi_n R_n = \phi_n (0.6) F_{up} A_n$$

$$\phi_n R_n = (0.75) * (0.6) * \left(4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * (53.84 \text{ cm}^2)$$

$$\phi_n R_n = 110,721.96 \text{ kg}$$

$$\phi_n R_n = 110.72 \text{ ton}$$

$$\frac{F_{fu}}{2} = 86,889.58 \text{ kg}$$

$$\frac{F_{fu}}{2} \leq \phi_n R_n$$

$$86,889.58 \text{ kg} \leq 110,721.96 \text{ kg} \rightarrow \text{chequea}$$

- Paso 10. La resistencia de la conexión por rotura del perno a corte es proporcionada por los pernos en un ala (el ala de compresión). Entonces:

$$V_u = 35,713.40 \text{ kg}$$

$$V_u \leq \phi_n R_n = \phi_n (n_b) F_{nv} A_b \quad \text{Ec. 17}$$

$$\phi_n R_n = 0.75 * 4 * 38009 \left[ \frac{\pi * \left(1 \frac{3}{8} * 2.54\right)^2}{4} \right]$$

$$\phi_n R_n = 109,211.29 \text{ kg}$$

$$\phi_n R_n = 109.21 \text{ Ton}$$

- Paso 11. Verificar la falla por aplastamiento y desgarramiento debido a la concentración de fuerzas producidas por los pernos en la placa de extremo y en el ala de la columna:

$$n_i = 2; n_o = 2 \quad \text{Ec. 18}$$

Placa

Perno interior

Distancia de desgarramiento

$$L_c = c - (d_h)$$

$$d_h = \text{diametro de perforación AISC 360 (tabla J3.3)}$$

$$L_{ci} = c - (d_{bp} + 0.3)$$

$$L_{ci} = 13.44 - (3.49 + 0.3)$$

$$L_{ci} = 9.65 \text{ cm}$$

Resistencia de diseño por desgarre:

$$r_{ni1} = 1.2 L_c t_p F_{up}$$

$$r_{ni1} = 1.2 * 9.65 \text{ cm} * 3.49 \text{ cm} * 4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$r_{ni1} = 184,825.19 \text{ kg}$$

Resistencia de diseño por aplastamiento:

$$r_{ni2} = 2.4 d_{bp} t_p F_{up}$$

$$r_{ni2} = 2.4 * 3.49 \text{ cm} * 3.49 \text{ cm} * 4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$r_{ni2} = 133,782.80 \text{ kg}$$

Se escoge el menor de los dos cálculos de diseño por desgarre y aplastamiento:

$$r_{ni} = 133,782.80 \text{ kg}$$

Perno exterior

Distancia de desgarramiento:

$$L_{co} = d_e - \left(\frac{d_h}{2}\right) = d_e - \left(\frac{d_{bp} + 0.3}{2}\right)$$

Distancia de borde vertical para orificios de pernos exteriores  $d_e$ . Debe cumplir con criterio de distancias mínimas y máximas al borde de acuerdo a secc. J3.4 y J3.5, respectivamente, del AISC 360-16.

$$d_e = \left[\left(1\frac{1}{4}\right) * \left(1\frac{3}{8}\right)\right] * \left(\frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ plg}}\right) = 4.37 \text{ cm}$$

Se usará según AISC 360-16 tabla J3.4:

$$d_e = 4.50 \text{ cm}$$

$$L_{co} = d_e - \left(\frac{d_h}{2}\right)$$

$$L_{co} = 4.50 \text{ cm} - \left(\frac{3.49 + 0.3}{2}\right) = 2.60 \text{ cm}$$

Resistencia de diseño por desgarre:

$$r_{no1} = 1.2L_{co}t_pF_{up}$$

$$r_{no1} = 1.2 * 2.60 \text{ cm} * 3.49 \text{ cm} * 4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$r_{no1} = 49,797.46 \text{ kg}$$

Resistencia de diseño por aplastamiento:

$$r_{no2} = 2.4d_{bp}t_pF_{up}$$

$$r_{no2} = 2.4 * 3.49 \text{ cm} * 3.49 \text{ cm} * 4570 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$r_{no1} = 133,782.80 \text{ kg}$$

Se escoge el menor de los dos cálculos de diseño por desgarre y aplastamiento:

$$r_{no} = 49,797.46 \text{ kg}$$

Carga última:

$$V_u = 35,713.40 \text{ kg (calculado anteriormente)}$$

$$V_u \leq \phi_n R_n$$

Resistencia de diseño al aplastamiento y desgarramiento:

$$\phi_n R_n = \phi_n (n_i) r_{ni} + \phi_n (n_o) r_{no} \quad \text{Ec. 18}$$

$$\phi_n R_n = (0.75)(2)(133,782.80 \text{ kg}) + (0.75)(2)(49,797.46 \text{ kg})$$

$$\phi_n R_n = 275,370.39 \text{ kg}$$

$$\phi_n R_n = 275.37 \text{ Ton}$$

$$V_u \leq \phi_n R_n$$

$$35,713.40 \text{ kg} \leq 275,370.39 \text{ kg} \rightarrow \text{chequea}$$

Ala de la columna:

$$\phi_n R_n = \phi_n R_n \left( \frac{t_{cf} F_{yp}}{t_p F_{yc}} \right)$$

$$\phi_n R_n = (275,370.39 \text{ kg}) \left( \frac{3.35 \text{ cm} * 3515 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{3.49 \text{ cm} * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right)$$

$$\phi_n R_n = 367,232.77 \text{ kg}$$

$$\phi_n R_n = 367.23 \text{ ton}$$

$$V_u \leq \phi_n R_n$$

$$35,713.40 \text{ kg} \leq 367,232.77 \rightarrow \text{chequea}$$

- Paso 12. Diseñar la soldadura del alma de la viga a la placa de extremo.

Resistencia de electrodo E70:

$$F_{EXX} = 4920 \frac{kg}{cm^2}$$

$$V_u = 0.75(0.6F_{EXX}) * (0.707w * l_{cw}) \quad \text{Ec. 19}$$

Longitud de cordón de soldadura:

$$l_{cw} = \frac{d_b}{2} - t_p$$

$$l_{cw} = \frac{40.89}{2} - 3.49 = 16.96 \text{ cm}$$

$$V_u = 35,713.40 \text{ kg}$$

Tamaño nominal de soldadura:

$$w = \frac{V_u}{2[0.75(0.6F_{EXX}) * (0.707 * l_{cw})]} \quad \text{Ec. 20}$$

$$w = \frac{35,713.40 \text{ kg}}{2[0.75(0.6 * 4920) * (0.707 * 16.96 \text{ cm})]}$$

$$w = 0.67 \text{ cm} \approx 6.72 \text{ mm}$$

#### 3.1.4. Diseño del lado de la columna

- Paso 1. Verificar la aleta de la columna para fluencia por flexión:

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} * g}$$

$$s = \frac{1}{2} \sqrt{28.45 * 14}$$

$$s = 9.98 \text{ cm}$$

$$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{s} \right) + h_o \left( \frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[ h_1 \left( s + \frac{3c}{4} \right) + h_o \left( s + \frac{c}{4} \right) + \frac{c^2}{2} \right] + \frac{g}{2}$$

$$Y_c = \frac{28.45}{2} \left[ 32.73 \left( \frac{1}{9.98} \right) + 46.17 \left( \frac{1}{9.98} \right) \right] + \frac{2}{14} \left[ 32.73 \left( 9.98 + \frac{3(13.44)}{4} \right) + 46.17 \left( 9.98 + \frac{13.44}{4} \right) + \frac{(13.44)^2}{2} \right] + \frac{14.00}{2}$$

$$Y_c = 314.14 \text{ cm}$$

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11M_f}{\phi_d F_{yc} Y_c}} \quad \text{Ec. 54}$$

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{1.11(68,555.58 \text{ kg}\cdot\text{m}) * \left( \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)}{(1.0)(2530)(329.48)}}$$

$$t_{cf} \geq 3.02 \text{ cm}$$

$$t_{cf \text{ columna}} \geq t_{cf \text{ calculado}}$$

$$3.35 \geq 3.02 \rightarrow \text{chequea}$$

$\therefore$  no se requiere de rigidizador en la columna

- Paso 2. Si se necesitan placas de continuidad debido a la fluencia por flexión de la aleta de la columna, calcular la fuerza necesaria para el rigidizador:

*El paso 2 se demostro que no se requiere de rigidizadores*

- Paso 3. Chequear la resistencia a fluencia local del alma de la columna, para el alma de la columna sin rigidizador, en las aletas de la viga:

$$F_{fu} \leq \phi_d R_n \quad \text{Ec. 24}$$

$$\phi_d R_n = \phi_d C_t (6k_c + t_{bf} + 2t_p) F_{yc} t_{cw} \quad \text{Ec. 25}$$

$C_t = 1.0$  (la conexión no esta en el tope de la columna)

$$K_c = \frac{d_c - d_{c1}}{2}$$

$$K_c = \frac{49.53 \text{ cm} - 38.42 \text{ cm}}{2} = 5.56 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \phi_d R_n &= 1.0 * 1.0 * [(6)(5.56 \text{ cm}) + (1.44 \text{ cm}) + (2)(3.49 \text{ cm})] * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \\ &\quad * 1.85 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\phi_d R_n = 195,551.29 \text{ kg}$$

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

$$173,719.16 \text{ kg} \leq 195,551.29 \text{ kg} \rightarrow \text{chequea}$$

$\therefore$  no se requiere de rigidizador en la columna

- Paso 4. Chequear la resistencia a pandeo del alma de la columna, para el alma de la columna sin rigidizador, en el ala a compresión de la viga:

$$\phi R_n = \frac{\phi 24 t_{cw}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h_c} \quad \text{Ec. 27}$$

$$\phi = 0.75; h_c = d_{c1}$$

$$\phi R_n = \frac{(0.75)(24)(1.85 \text{ cm})^3 \sqrt{\left(2.039 * 10^6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) * (2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2})}}{38.42 \text{ cm}}$$

$$\phi R_n = 213,058.66 \text{ kg}$$

$$F_{fu} \leq \phi R_n \quad \text{Ec. 55}$$

$$173,779.16 \text{ kg} \leq 213,058.66 \text{ kg} \rightarrow \text{chequea}$$

$\therefore$  no se requiere de rigidizador en la columna

- Paso 5. Verificar la resistencia por arrugamiento del alma de la columna, para el alma de la columna sin rigidizador, en el ala a compresión de la viga:

$$\phi R_n = \phi * 0.80 * t_{cw}^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d_c} \right) \left( \frac{t_{cw}}{t_{cf}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{cf}}{t_{cw}}} \quad \text{Ec. 30}$$

$$N = b_{cf} + 2t_p = 28.45 \text{ cm} + 2(3.49 \text{ cm}) = 35.43 \text{ cm}$$

$$\phi R_n = 0.75 * 0.80$$

$$* (1.85)^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{35.43}{49.53} \right) \left( \frac{1.85}{3.35} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{(2.039 * 10^6)(2530)(3.35)}{1.85}}$$

$$\phi R_n = 373,261.59 \text{ kg}$$

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

$$173,779.16 \text{ kg} \leq 373,261.59 \text{ kg} \rightarrow \text{chequea}$$

$\therefore$  no se requiere de rigidizador en la columna

De los cálculos obtenidos anteriormente se obtiene:

- Fluencia en la aleta de la columna (paso 2):  $3.35 \geq 3.02$
- Fluencia del alma de la columna (paso 3):  $\phi_d R_n = 195,551.29 \text{ kg}$
- Pandeo del alma de la columna (paso 4):  $\phi R_n = 213,058.66 \text{ kg}$
- Arrugamiento del alma de la columna (paso 5):  $\phi R_n = 373,261.59 \text{ kg}$

Tomamos el dato menor para el diseño de placas de continuidad:

$$\phi_d R_n = 195,551.29 \text{ kg}$$

- Paso 6. Revisión de placas de continuidad

$$\phi_d R_n = 195,551.29 \text{ kg}$$

$$F_{fu} = 173,779.16 \text{ kg}$$

$$F_{su} = F_{fu} - (\phi R_n) \quad \text{Ec. 33}$$

$$F_{su} = 173,779.16 \text{ kg} - 195,551.29 \text{ kg} \neq 0$$

$\therefore$  no se requieren placas de continuidad

Si en dado caso se requieren placas de continuidad, revisar sección E3.6f AISC 341-16 y la sección NSR (F3.5.3.6.6).

Revisión de los límites de la relación viga-columna.

- Paso 7. Verificar los límites de la relación entre los parámetros de la columna y de la viga.

### 3.1.5. Revisión de la zona de panel

Alturas de columnas superior e inferior:

$$h_{cs} = 3.5 \text{ m} ; h_{ci} = 3.5 \text{ m}$$

Fuerza solicitante:

Para que el sistema esté en equilibrio se debe cumplir lo siguiente:

$$V_c * \left( \frac{h_{cs}}{2} + \frac{h_{ci}}{2} \right) = M_f + M'_f$$

Cortante de la columna:

$$V_c = \frac{2(M_f)}{h_{cs} + h_{ci}} \quad \text{Ec. 34}$$

$$V_c = \frac{2(68,560.45 \text{ kg} - \text{m})}{3.50 \text{ m} + 3.50 \text{ m}}$$

$$V_c = 19,588.70 \text{ kg}$$

Resistencia requerida en la zona de panel:

$$R_u = \frac{M_f + M'_f}{d_b - t_{bf}} - V_c \quad \text{Ec. 56}$$

$$R_u = \frac{68,560.45 \text{ kg} - \text{m}}{0.4089 - 0.0144} - 19,588.70 \text{ kg}$$

$$R_u = 154,202.05 \text{ kg}$$

Fluencia por cortante del alma de la zona de panel (ver la siguiente tabla):

**Tabla 12.**  
*Resistencia de diseño*

Condición	Caso	$\phi R_n; \phi = 1$
No cumple	$P_u \leq 0.4P_y$	$\phi * 0.6 * F_{yc} * d_c * t_{cw}$
No cumple	$P_u > 0.4P_y$	$\phi * 0.6 * F_{yc} * d_c * t_{cw} \left( 1.4 - \frac{P_u}{P_y} \right)$
Cumple	$P_u \leq 0.75P_y$	$\phi * 0.6 * F_{yc} * d_c * t_{cw} \left( 1 + \frac{3b_{cf} * t_{cf}^2}{d_b * d_c * t_{cw}} \right)$
Cumple	$P_u > 0.75P_y$	$\phi * 0.6 * F_{yc} * d_c * t_{cw} \left( 1 + \frac{3b_{cf} * t_{cf}^2}{d_b * d_c * t_{cw}} \right) \left( 1.9 + \frac{1.2P_u}{P_y} \right)$

Nota. Sección (J10-6) del AISC 360-16. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

$$0.75 P_y = 0.75(A_{gc} * F_{yc})$$

$$0.75P_y = 0.75 \left( 271.61 \text{ cm}^2 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right) = 515,379.98 \text{ kg}$$

$$P_{uc} = 40,000 \text{ kg}$$

Cumple para el tercer caso:

$$P_u \leq 0.75P_y$$

$$40,000 \text{ kg} \leq 515,379.98 \text{ kg}$$

$$\phi R_n = \phi * 0.6 * F_{yc} * d_c * t_{cw} \left( 1 + \frac{3b_{cf} * t_{cf}^2}{d_b * d_c * t_{cw}} \right)$$

$$\phi R_n = 1 * 0.6 * 2530 * 49.53 * 1.85 \left[ 1 + \frac{3(28.45) * (3.35)^2}{(40.89)(49.53)(1.85)} \right]$$

$$\phi R_n = 174,653.96 \text{ kg}$$

$$\phi R_n \geq R_u$$

$$174,653.96 \text{ kg} \geq 154,202.05 \text{ kg} \rightarrow \text{chequea}$$

Si la fuerza solicitante es mayor que la resistencia, se debe colocar una placa (rigidizador) en la zona de panel, como se indica en la sección 2.2.4.5 del AISC 358-16.

### 3.1.6. Revisión de la relación de los momentos viga-columna

Se debe verificar la relación de viga débil-columna fuerte de la siguiente manera:

Sumatoria de momentos de la columna:

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_{cx} \left( F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_{gc}} \right) \quad \text{Ec. 38}$$

$$\sum M_{pc}^* = 2 \left[ 5276.63 \left( 2530 - \frac{40,000}{271.61} \right) \right]$$

$$\sum M_{pc}^* = 251,455.69 \text{ kg} - m$$

Sumatoria de momentos de la viga:

$$\sum M_{pr} = \sum C_{pr} * R_y * F_y * Z_{bx}$$

$$\sum M_{pr} = 1.2 * 1.5 * 2530 * 1348.66$$

$$\sum M_{pr} = 61,417.98 \text{ kg} - m$$

$$\sum M_{uv} = \sum V_u \left( S_h + \frac{d_c}{2} \right)$$

Ec. 39

$$\sum M_{uv} = \sum 35,713.40 \left( 20 + \frac{49.53}{2} \right)$$

$$\sum M_{uv} = 15,987.10 \text{ kg} - m$$

$$\sum M_{pb}^* = \sum M_{pr} + \sum M_{uv}$$

Ec. 57

$$\sum M_{pb}^* = (61,417.98 \text{ kg} - m) + (15,987.10 \text{ kg} - m)$$

$$\sum M_{pb}^* = 77,405.08 \text{ kg} - m$$

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1$$

Ec. 41

$$\frac{251,455.69 \text{ kg} - \text{m}}{77,405.08 \text{ kg} - \text{m}} > 1$$

$$3.25 > 1 \rightarrow \text{chequea}$$

**Tabla 13.**

*Resultados obtenidos del diseño de la conexión de placa de extremo extendida*

Resultados teóricos de conexión (BUEEP 4E)			
o.	Tipo	Capacidad	Unidad
	Flexión en fluencia	82.13	Ton-m
	Momento resistente en pernos sin efecto de palanca	71.56	Ton-m
	Corte en los pernos	109.21	Ton
	Aplastamiento de pernos por corte	275.37	Ton
	Corte a fluencia	152.47	Ton
	Corte a rotura	110.72	Ton

*Nota.* Resultados obtenidos por el diseño de la conexión de placa de extremo extendida de cuatro pernos sin rigidizadores (BUEEP 4E). Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.



## **4. DISEÑO DE CONEXIÓN EN SOFTWARE RAM CONNECTION**

Ram Connection en su versión v13 Update (13.7.1.5) es un software que se basa en el análisis y diseño de conexiones en estructuras de acero. Simplifica el procedimiento matemático para desarrollar la conexión precalificada y toma como referencia los códigos de diseño AISC 360-16, AISC 358-16 y AISC 341-16 bajo la metodología LRFD y ASD.

La interfaz del programa es muy amigable con el desarrollador y los cálculos se basan con los códigos mencionados anteriormente. Este programa es capaz de diseñar conexiones a cortante, momento, placas base y los resultados los exporta con mención a qué código está utilizando su diseño.

El programa también realiza automáticamente el diseño de la conexión como imagen y este se puede exportar en formato de dibujo para AutoCAD, con sus respectivas medidas para facilitar la interpretación.

### **4.1. Definir sistema de unidades**

Antes de realizar la conexión precalificada, es importante el sistema de medidas a integrar. Para este trabajo de investigación se utilizará el sistema métrico.

**Figura 14.**

*Ingreso de sistema de unidades*

Unidades ? X

Sistema de unidades:	Métrico
Longitudes:	m
Dimensiones de Sección:	cm
Cortantes y Axiales	Ton
Momentos:	Ton*m
Otros:	Kg-m

Unidades por defecto en sistema:

Inglés     SI     Métrico

*Nota.* Ingreso de sistema de unidades. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

## 4.2. Selección de elementos estructurales

En este apartado se ingresan los tipos de elementos estructurales para la conexión precalificada, también se especifica si esta tendrá continuidad, longitudes de viga y también el tipo de conexión a usar con base en el código AISC 358-16.

## Figura 15.

*Seleccionar tipo de conexión*

Propiedad	Valor
Junta	BCF
Descripción	
Hay viga opuesta	No
Es extremo de columna	No
<b>Viga</b>	
Tipo	Miembro prismático
Sección	W 16X45
Material	A992 Gr50
Ángulo horizontal	0
Ángulo vertical	0
sb: Holgura de viga	0 cm
L: Longitud	600 cm
Restricción lateral a torsión	No
<b>Columna</b>	
Tipo	Miembro prismático
Sección	W 18X143
Material	A992 Gr50

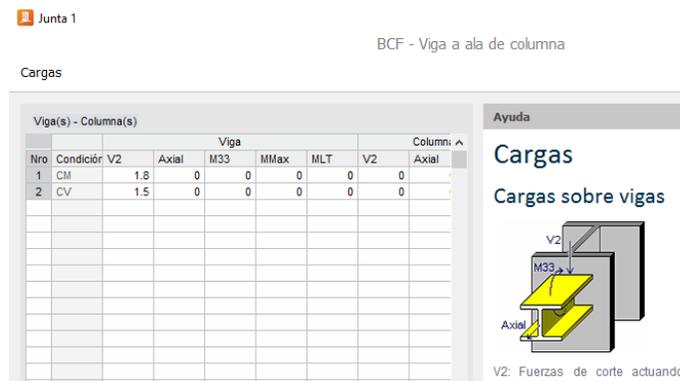
*Nota.* Seleccionar tipo de conexión. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

### 4.3. Selección de cargas gravitacionales y dinámicas

Se hace el ingreso de forma manual para las cargas gravitacionales y cargas dinámicas, ya sea que estas sean calculadas manualmente o por medio de un software de diseño estructural, como por ejemplo Etabs.

**Figura 16.**

*Ingreso de cargas gravitacionales y dinámicas*



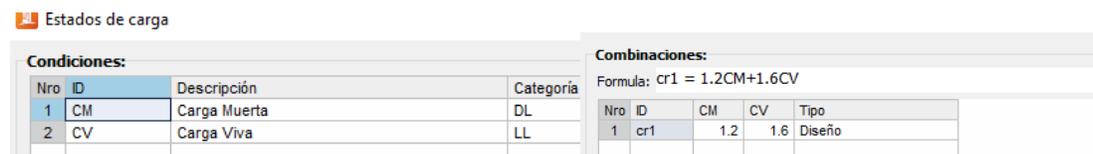
*Nota.* Ingreso de cargas gravitacionales y dinámicas. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

#### 4.4. Selección de combinaciones de carga

Ingreso de combinaciones de carga bajo el código de diseño a utilizar por el desarrollador de la conexión precalificada.

**Figura 17.**

*Ingreso de combinaciones de carga*



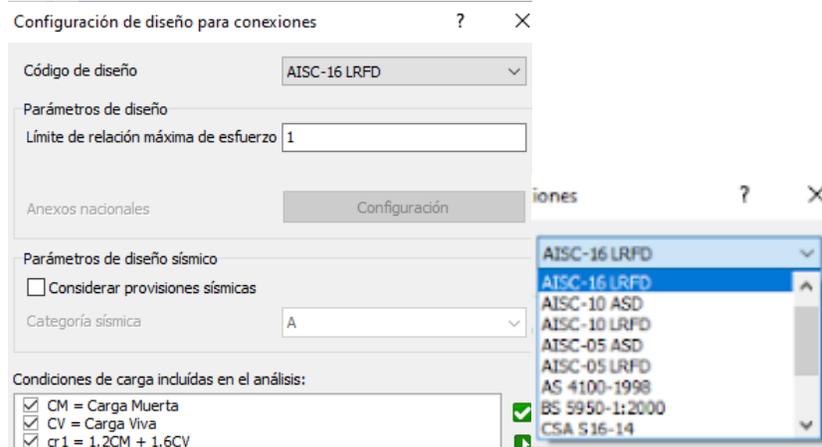
*Nota.* Ingreso de combinaciones de carga. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

#### 4.5. Selección de código de diseño

Se selecciona el código de diseño bajo la normativa AISC, el año del código ya depende del profesional para realizar su diseño.

**Figura 18.**

*Ingreso de código de diseño*



*Nota.* Ingreso de código de diseño. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

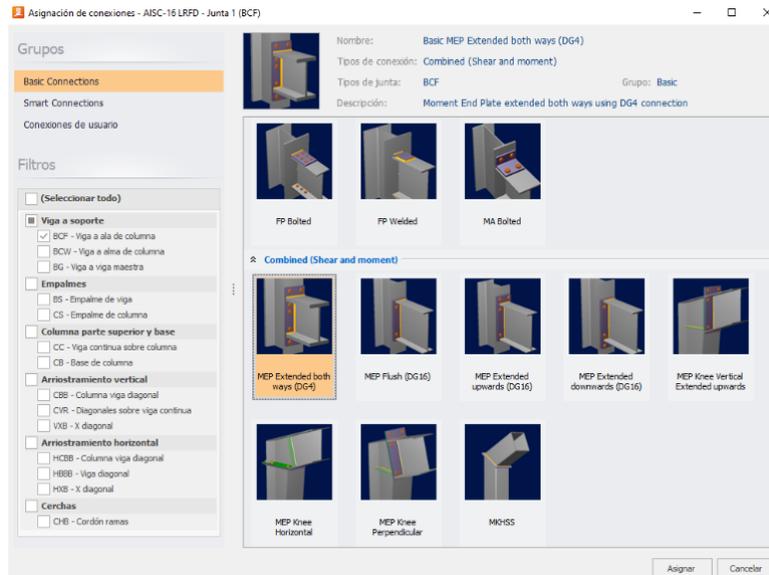
#### 4.6. Selección de tipo de conexión

Se selecciona el tipo de conexión precalificada, que puede ser:

- Conexión a corte
- Conexión a momento
- Conexión de combinación corte y momento

**Figura 19.**

*Ingreso de tipo de conexión precalificada*

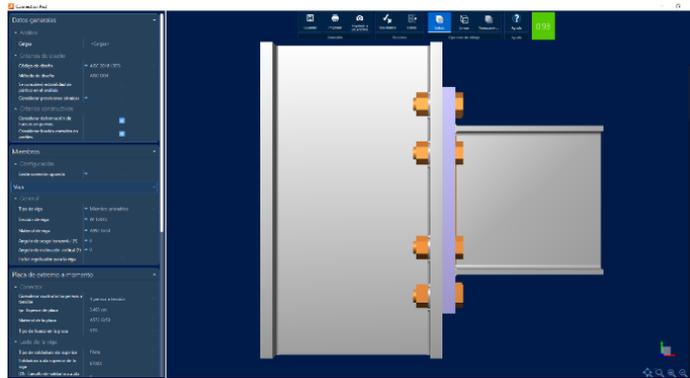


*Nota.* Ingreso de tipo de conexión precalificada. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

#### 4.7. Panel de modificación en conexión precalificada

Ya ingresados al programa los valores de sistemas de unidades, elementos estructurales, cargas, combinaciones de carga, código de diseño y tipo de conexión, es posible observar detalladamente el panel de modificación, en el cual se pueden modificar todos los valores que se acaba de mencionar.

**Figura 20.**  
*Panel de modificación*



Placa de extremo a momento	
^ Conector	
Considerar cuatro/ocho pernos a tensión	4 pernos a tensión
tp: Espesor de placa	3.493 cm
Material de la placa	A572 Gr50
Tipo de hueco en la placa	STD
^ Lado de la viga	
Tipo de soldadura ala superior	Filete
Soldadura a ala superior de la viga	E70XX
D1: Tamaño de soldadura a ala superior de la viga (1/16in)	4
Tipo de soldadura ala inferior	Filete
Soldadura a ala inferior de la viga	E70XX
D3: Tamaño de soldadura a ala inferior de la viga (1/16in)	4
Soldadura a alma de la viga	E70XX
D2: Tamaño de soldadura a alma de la viga (1/16in)	4
^ Lado del soporte	
Pernos	1 3/8" A325 N
Columnas de pernos	2
g: Separación transversal entre columnas de pernos	14 cm
Lev: Distancia vertical al borde	4.5 cm
Leh: Distancia horizontal al borde	4.5 cm
pfi: Distancia del centro del primer perno interior al ala de la viga	6 cm
pfo: Distancia del centro del perno exterior al ala de la viga	6 cm
Tipo de hueco en soporte	STD

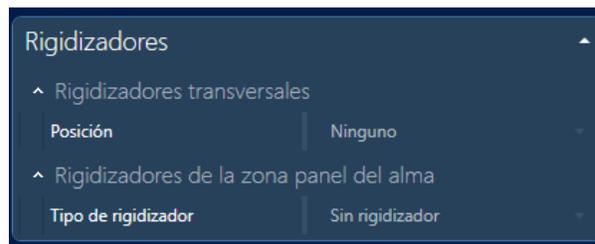
*Nota.* Panel de modificación. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

#### 4.8. Selección de rigidizadores

Si se necesita algún refuerzo en la conexión es posible ingresar rigidizadores en la zona panel, o bien cambiar la sección del elemento estructural.

#### Figura 21.

*Selección de rigidizadores*



*Nota.* Ingreso de sistema de unidades. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

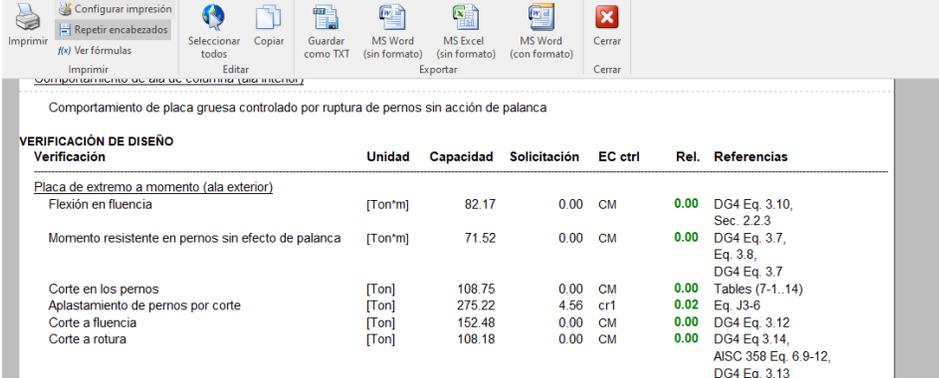
#### 4.9. Resultados obtenidos de conexión precalificada

Los resultados son generados automáticamente por el software y estos pueden ser exportados en documento de Word o Excel.

**Figura 22.**

*Obtención de resultados*

Reporte - RAM Connection Standalone CE



Comportamiento de placa gruesa controlado por ruptura de pernos sin acción de palanca

VERIFICACIÓN DE DISEÑO	Unidad	Capacidad	Solicitud	EC	ctrl	Rel.	Referencias
<u>Placa de extremo a momento (ala exterior)</u>							
Flexión en fluencia	[Ton'm]	82.17	0.00	CM		0.00	DG4 Eq. 3.10, Sec. 2.2.3
Momento resistente en pernos sin efecto de palanca	[Ton'm]	71.52	0.00	CM		0.00	DG4 Eq. 3.7, Eq. 3.8, DG4 Eq. 3.7
Corte en los pernos	[Ton]	108.75	0.00	CM		0.00	Tables (7-1..14)
Aplastamiento de pernos por corte	[Ton]	275.22	4.56	cr1		0.02	Eq. J3.6
Corte a fluencia	[Ton]	152.48	0.00	CM		0.00	DG4 Eq. 3.12
Corte a rotura	[Ton]	108.18	0.00	CM		0.00	DG4 Eq. 3.14, AISC 358 Eq. 6.9-12, DG4 Eq. 3.13

*Nota.* Ingreso de sistema de unidades. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

#### 4.10. Comportamiento de conexión

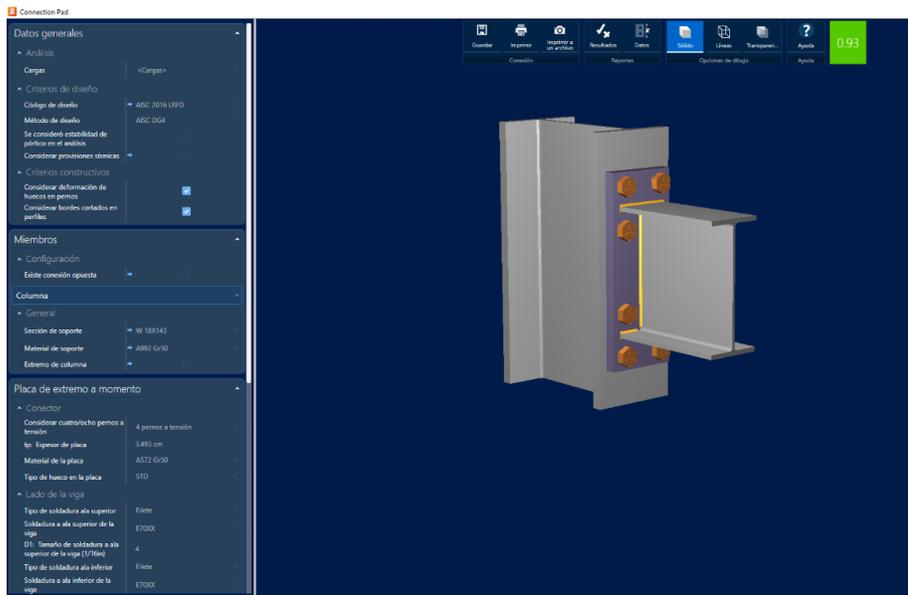
El programa da el parámetro en una escala de colores, siendo estos:

- Rojo (crítico)
- Amarillo (aceptable)
- Verde (óptimo)

Además indica el porcentaje en el cual se encuentra óptima la conexión precalificada. Para el estudio en mención dio como resultado un 93 % satisfactorio.

**Figura 23.**

*Comportamiento de conexión*



*Nota.* Ingreso de sistema de unidades. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

**Tabla 14.**

*Resultados obtenidos por software Ram Connection Standalone*

Resultados Software Ram Connection Standalone			
No.	Tipo	Capacidad	Unidad
1	Flexión en fluencia	82.17	Ton-m
2	Momento resistente en pernos sin efecto de palanca	71.52	Ton-m
3	Corte en los pernos	108.75	Ton
4	Aplastamiento de pernos por corte	275.22	Ton
5	Corte a fluencia	152.48	Ton
6	Corte a rotura	108.18	Ton

*Nota.* Resultados obtenidos por el diseño de la conexión de placa de extremo extendida de cuatro pernos sin rigidizadores (BUEEP 4E). Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## 5. ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Resultados teóricos de conexión (BUEEP 4E)

Se realizaron los cálculos teóricos bajo la metodología de diseño por los siguientes códigos:

- AISC 358-16
- AISC 360-16
- AISC 341-16

Se desarrolla un procedimiento ordenado para una mejor interpretación en el estudio de la conexión, obteniendo así los siguientes resultados:

**Tabla 15.**

*Resultados, diseño de conexión de placa de extremo extendida de 4 pernos*

Resultados Teóricos conexión (BUEEP 4E)			
No.	Tipo	Capacidad	Unidad
1	Flexión en fluencia	82.13	Ton-m
2	Momento resistente en pernos sin efecto de palanca	71.56	Ton-m
3	Corte en los pernos	109.21	Ton
4	Aplastamiento de pernos por corte	275.37	Ton
5	Corte a fluencia	152.47	Ton
6	Corte a rotura	110.72	Ton

*Nota.* Resultados obtenidos por el diseño de la conexión de placa de extremo extendida de cuatro pernos sin rigidizadores (BUEEP 4E). Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

## 5.2. Resultados de software Ram Conexion Standalone

En el software de diseño Ram Connection en su versión v13 Update (13.7.1.5), se ingresó el mismo modelo de la conexión de placa de extremo extendida de cuatro pernos sin rigidizadores (BUEEP 4E), conservando así las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, los mismos elementos estructurales, el mismo sistema de unidades y así mismo las cargas de análisis estructural, obteniendo así los siguientes resultados:

**Tabla 16.**

*Resultados obtenidos por software Ram Connection Standalone*

Resultados de software Ram Connection Standalone			
No.	Tipo	Capacidad	Unidad
1	Flexión en fluencia	82.17	Ton-m
2	Momento resistente en pernos sin efecto de palanca	71.52	Ton-m
3	Corte en los pernos	108.75	Ton
4	Aplastamiento de pernos por corte	275.22	Ton
5	Corte a fluencia	152.48	Ton
6	Corte a rotura	108.18	Ton

*Nota.* Resultados obtenidos por el diseño de la conexión de placa de extremo extendida de cuatro pernos sin rigidizadores (BUEEP 4E). Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

### 5.3. Comparación de resultados de cálculos teóricos vs software Ram Connection

Se realiza una comparación de resultados con base en los cálculos teóricos versus los resultados obtenidos por el software Ram Connection, y así mismo se obtiene una diferencia en porcentaje de los resultados.

**Tabla 1.**

*Comparación de resultados de cálculos teóricos vs software Ram Connection*

Comparación de resultados						
Cálculos teóricos vs software Ram Connection						
No.	Tipo	Cálculos manuales		Ram Connection		Diferencia de resultados
		Capacidad	Unidad	Capacidad	Unidad	
1	Flexión en fluencia	82.13	Ton-m	82.17	Ton-m	0.05 %
2	Momento resistente en pernos sin efecto de palanca	71.56	Ton-m	71.52	Ton-m	0.06 %
3	Corte en los pernos	109.21	Ton	108.75	Ton	0.42 %
4	Aplastamiento de pernos por corte	275.37	Ton	275.22	Ton	0.05 %
5	Corte a fluencia	152.47	Ton	152.48	Ton	0.01 %
6	Corte a rotura	110.72	Ton	108.18	Ton	2.35 %

*Nota.* Comparación de resultados de diseño teóricos versus diseño en software Ram Connection. Elaboración propia, realizado con Microsoft Word.



## CONCLUSIONES

1. Se realizó un análisis de predimensionamiento de los elementos estructurales, para este caso una viga W16x45 y una columna W18x143, con base en los chequeos preliminares antes de entrar al diseño de la conexión. Se logró determinar que cumplen satisfactoriamente los parámetros establecidos por los límites paramétricos de precalificación según el ANSI/AISC 358-16 para obtener así los resultados mostrados en la tabla 7.
2. Se analizó el diseño teórico de la conexión de placa de extremo extendida de cuatro pernos sin rigidizadores (BUUEEP 4E), bajo las especificaciones de los códigos AISC 360-16, AISC 358-16 y AISC 341-16, de tal manera que se cumple con todos los requerimientos de los códigos, chequeos y parámetros establecidos, obteniendo así los resultados mostrados en la tabla 11.
3. Se analizó el diseño de la conexión precalificada, cumpliendo con todos sus chequeos. Uno de los más importantes es el concepto de columna fuerte-viga débil, este debe ser mayor a 1, en el estudio se obtuvo un resultado de 3, dando así un resultado satisfactorio para la conexión. Este mecanismo de falla debe darse siempre en la viga, porque esta tiene una falla dúctil, en cambio la columna tiene una falla frágil.
4. Se diseñó la conexión precalificada en el software Ram Connection con los mismos elementos estructurales, carga de corte, carga de momento, carga axial y códigos de diseño AISC 360-16, AISC 358-16 y AISC 341-

16, bajo la metodología LRFD y ASD. Se cumple así satisfactoriamente y la conexión dio como resultado una demanda/capacidad de 93 % de efectividad.

5. Se realizó una comparación de los resultados obtenidos de diseño teórico versus el software Ram Connection, así se observa que los resultados son casi iguales, por lo tanto, el programa cumple con todos los requisitos establecidos por los códigos AISC 360-16, AISC 358-16 y AISC 341-16, y la diferencia de resultados no excede un 2.35 %.

## RECOMENDACIONES

1. Recordar que, por ser Guatemala un país altamente sísmico, es importante estar actualizados con los códigos de diseño, siendo estos los de AISC en su versión 2016. De igual manera, el software Ram Connection en su versión v13 Update (13.7.1.5), esto con la finalidad de garantizar una mayor eficiencia en el trabajo con las últimas modificaciones establecidas por los códigos internacionales.
2. Tomar en cuenta que, para uso del software, es importante la lectura del manual, para entender de una mejor manera las definiciones que el programa desarrolla, ya que su interfaz es amigable con el diseñador.
3. Considerar que el programa garantiza una efectividad bastante alta, pero siempre es importante realizar los cálculos manuales, ya que estos proveen una mejor efectividad y revisión del trabajo.
4. Tener en cuenta que la elección de los elementos estructurales para el diseño de la conexión precalificada es un papel importante en la ingeniería, ya que hay que garantizar el diseño, el costo y optimizar los elementos.
5. El software Ram Connection tiene la facilidad de ingresar cargas manualmente, calculadas con otro software de diseño, como por ejemplo Etabs, pero se debe interpretar bien qué tipo de cargas son las que van a ser integradas a la conexión precalificada.



## REFERENCIAS

American Institute of Steel Construction. (2016). *Seismic provisions for structural steel buildings: ANSI/AISC 341-16*. AISC.

American Institute of Steel Construction. (2016). *Seismic provisions for structural steel buildings: ANSI/AISC 358-16*. AISC.

American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification for structural steel buildings: ANSI/AISC 358-16*. AISC.

American Institute of Steel Construction. (2003). *Steel desing guide 4, extended edn-plate moment connections seismic and wind applications*. AISC.

American Institute of Steel Construction. (1999). *Stiiffening of wide-flange columns at moment connections: wind and seismic applications*. AISC.

AWS D1.1-15. (2016). *Structural welding code – Steel*. American Welding Society.

AWS D1.1-15. (2016). *Structural welding code – Seismic supplement*. American Welding Society.

American Institute of Steel Construction. (2010). *Seismic design manual*. AISC.

- Brito, B. (2018). *Diseño y construcción de una conexión a momento con formación de rótula plástica de acero ASTM A36*. [Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas: ESPE]. Repositorio institucional.
- Cardoso, L. (2014). *Diseño de conexiones precalificadas bajo AISC para pórticos resistentes a momento*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional.
- Crisafulli, F. (2014). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero*. Asociación Latinoamericana del Acero (Alacero).
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *State of the art report on connection performance*. FEMA-355D.
- FEMA (2000). *Recommended seismic design criteria for new steel moment frame buildings*. FEMA-350.
- García, J. (2018). *Fundamentos para el cálculo y diseño de estructuras metálicas de acero laminado*. McGraw-Hill.
- Instituto Colombiano de la Construcción con Acero. (2020). *Conexiones precalificadas para pórticos de acero resistentes a momentos, con capacidad moderada o especial de disipación de energía para aplicaciones sísmicas, incluyendo el suplemento No.1*. ICCA
- McCormac, J. y Csernak, S. (2013). *Diseño de estructuras de acero*. Alfaomega.

- NEC-2015. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero 3*. Imprenta Activa.
- NEC-2015. (2014). *Estructuras de acero*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Peralta, M. (2015). *Diseño de conexiones de estructuras de acero actualizado al Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. [Tesis pregrado, Universidad Industrial de Santander]. Repositorio institucional.
- Pillajo, H. (2017). *Evaluación de la conexión precalificada: viga de sección reducida – Columna cajón relleno, para pórticos de momento a base de planchas de acero A36 soldadas*. [Tesis pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio institucional.
- Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. McGraw-Hill/Interamericana.

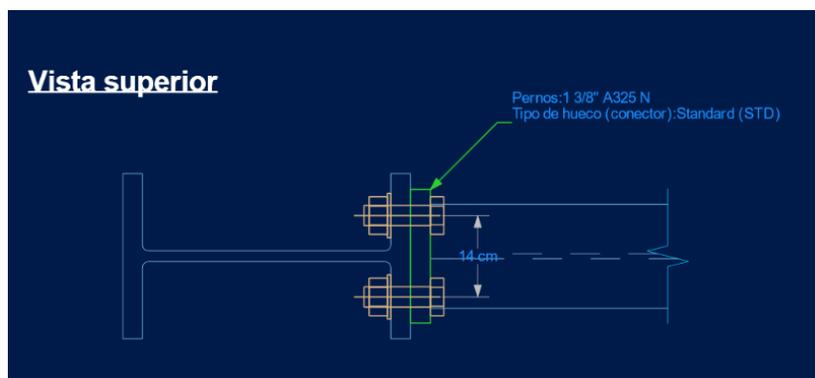


## APÉNDICES

El software Ram Connection tiene la facilidad de exportar el trabajo de la conexión precalificada en formato de dibujo AutoCAD.

### Apéndice 1.

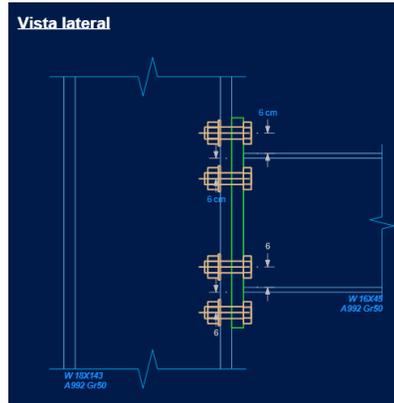
*Vista superior*



*Nota.* Exportación de conexión en formato de dibujo para software AutoCAD. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

## Apéndice 2.

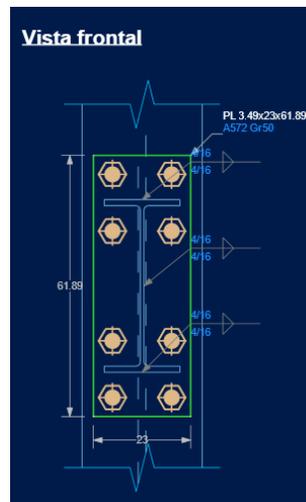
### Vista lateral



*Nota.* Exportación de conexión en formato de dibujo para software AutoCAD. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.

## Apéndice 3.

### Vista frontal



*Nota.* Exportación de conexión en formato de dibujo para software AutoCAD. Elaboración propia, realizado con RAM Connection Standalone.