

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Software para Diseño de Conexiones de Acero

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero Civil

PRESENTA

Severiano Hernández Mora

ASESOR

Dr. Jorge Ignacio Cruz Díaz

C.U., Morelia, Michoacán, Mx., Octubre de 2018





UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 28 de Agosto de 2018

C. SEVERIANO HERNANDEZ MORA
P R E S E N T E

Asunto: Carta de Aceptación
de Inicio de Trabajo.

Por medio de la presente y en atención a su solicitud para iniciar el desarrollo de su trabajo relativo a la Licenciatura en Ingeniería Civil, una vez analizado el tema propuesto, se le comunica la aceptación a fin de que lleve a cabo el desarrollo del trabajo denominado "Software para Diseño de Conexiones de Acero", mismo que será asesorado por el profesor Jorge Ignacio Cruz Díaz.

Sin más por el momento, me despido enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE




WILFRIDO MARTINEZ MOLINA
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO

Morelia, Mich a 27 de Septiembre de 2018

C. SEVERIANO HERNANDEZ MORA
P R E S E N T E

Asunto: Carta de Aceptación
de Impresión de trabajo.

Por medio de la presente, una vez revisado su trabajo denominado "Software para Diseño de Conexiones de Acero" a fin de obtener el título de INGENIERO CIVIL en esta Facultad a mi cargo, hago de su conocimiento que no existe inconveniente alguno para que esta se reproduzca.

Sin más por el momento, me despido enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE



WILFRIDO MARTINEZ MOLINA
DIRECTOR
Facultad de Ingeniería Civil

Agradecimientos

A MIS PADRES: M. Teresa Mora Quintero y Margarito Hernández de Jesús, por darme el regalo de la vida, cuidarme día con día, por los consejos y apoyo, les seré eternamente agradecido.

A MI FAMILIA Y AMIGOS: Claudia, Sofía, Arturo, Urbano, Margarita, Anselmo, Malintzi, Edmundo, Luna, Paola, Ludwin, Cecilia y Nancy por su infinito apoyo incondicional.

A MI ASESOR DE TESIS: Dr. Jorge Ignacio Cruz Díaz por ser parte de este proyecto y darme su amistad, tiempo, su enseñanza y consejos.

A LA UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO: Por permitirme ser uno más en su inmensa lista de profesionales y brindarme las facilidades académicas.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

A LA CASA DE ESTUDIANTE: 2 de octubre por brindarme las comodidades necesarias para desempeñar mi vida académica y donde encontré muchos amigos que también son parte de este gran logro.

A TODOS ELLOS MUCHAS GRACIAS, POR SER PARTE DE MI VIDA ACADÉMICA Y PROFESIONAL.

Contenido

Agradecimientos	V
Lista de tablas.....	X
Lista de figuras	XI
Resumen	XIII
Abstract	XIV
Introducción	XV
Objetivo	XVI
Capítulo 1.- Estado del arte	1
1.1.- Reglamentación existente de diseño de estructuras de acero	1
1.2.- Evolución de las conexiones	2
1.2.1.- Conexiones en el pasado.....	3
1.2.2.- Conexiones en la actualidad	4
1.3.- Software de diseño de conexiones	8
1.3.1.- Software comercial	8
1.3.2.- Software libre	9
1.3.3.- Software didáctico.....	9
Capítulo 2.- Diseño estructural en acero	11
2.1.- Criterios de diseño	11
2.1.1.- Diseño por el método LRFD.....	12
2.2.- Acero estructural	13
2.2.1.- Ventajas y desventajas de acero estructural	13
2.2.2.- Tipos de acero estructural.....	15
Capítulo 3.- Conexiones en estructuras de acero.....	17
3.1.- Tornillos	17
3.1.1.- Tipos de tornillos y pretensiones.....	18

3.1.2.- Tamaño de los agujeros.....	20
3.1.3.- Conexiones simples.....	21
3.1.4.- Separación y distancias a los bordes.....	24
3.1.5.- Resistencia de conexiones tipo aplastamiento.....	25
3.1.6.- Elementos de conexión y miembros afectados	28
3.2.- Soldaduras.....	30
3.2.1.- Procesos de soldaduras.....	31
3.2.2.- Clasificación de las soldaduras.....	33
3.2.3.- Simbología de la soldadura.....	35
3.2.4.- Soldadura de filete	36
3.3.- Conexiones sujetas a cortante excéntrico	40
3.3.1.-Conexiones atornilladas cargadas excéntricamente	40
3.3.2.-Conexiones soldadas cargadas excéntricamente	42
3.4.- Conexiones en estructuras.....	45
3.4.1.- Tipos de conexiones en acero	46
3.4.2.-Conexiones parcialmente restringidas (Tipo PR)	47
3.4.3.- Conexiones totalmente restringidas (Tipo FR)	48
Capítulo 4.- Ejemplos de diseño de conexiones.....	51
4.1.- Conexiones de cortante, con placa de extremo.....	51
Ejemplo 1.- Conexión de cortante, con placa de extremo	54
4.2.- Conexiones de cortante, con placa sencilla o placa de cortante.....	59
Ejemplo 2.- Conexiones de cortante, con placa sencilla o placa de cortante.....	65
4.3.- Conexión de cortante, con asiento atiesado	73
Ejemplo 3.- Conexión de cortante, con asiento atiesado atornillado/soldado	80
4.4.- Conexión de momento con placa de patín.....	84
4.4.1.- Estados límites de resistencia.....	86
4.5.- Conexión de momento con placa de extremo extendida	89
4.5.1.- Conexión de momento con placa de extremo extendida.....	92

4.5.2.- Estados límites de resistencia.....	95
4.6.- Soldaduras y atiesamiento de la columna	97
4.6.1.- Soldaduras.....	98
4.6.2.- Atiesado de columnas para conexiones de momento, Tipo FR.....	100
Ejemplo 4.- Conexión totalmente restringida Tipo FR, con placa de patín	105
Ejemplo 5.- Conexión totalmente restringida Tipo FR, con placa de extremo.....	125
Capítulo 5.- Software DISCON para diseño de conexiones de acero.....	137
5.1.- Entorno de trabajo del Software DISCON	142
5.2.- Manual de usuario.....	143
5.3.- Ejemplos de aplicación.....	150
5.3.1.- Conexión de cortante, con placa de extremo	151
5.3.2.- Conexión de cortante, con placa sencilla	156
5.3.3.- Conexión de cortante, con asiento atiesado atornillado/soldado	160
5.3.4.- Conexión totalmente restringida Tipo FR, con placa de patín	163
5.3.5.- Conexión totalmente restringida Tipo FR, con placa de extremo	168
Conclusiones	XVII
Anexo	XIX
Resultados y plano del ejemplo 5.3.1	XIX
Resultados y plano del ejemplo 5.3.2	XX
Resultados y plano del ejemplo 5.3.3	XXII
Resultados y plano del ejemplo 5.3.4	XXIII
Resultados y plano del ejemplo 5.3.5	XXV
Referencias bibliográficas	XXIX

Lista de tablas

Tabla 2. 1 Tipos de aceros estructurales.	16
Tabla 3. 1 Pretensión mínima en los tornillo, k_b^* (Jack, C. & Stephen, F. 2012).	20
Tabla 3. 2 Distancias mínimas al borde ^[a] del centro del agujero STD ^[b] al borde de la parte conectada (AISC, 2010).	25
Tabla 3. 3 Resistencia nominal de tornillos y partes roscadas (AISC, 2010).	27
Tabla 3. 4 Tamaños mínimos para soldadura de filete (Jack, C. & Stephen, F. 2012).	38
Tabla 3. 5 Coeficientes de los electrodos, C1 (Jack, C. & Stephen, F. 2012).	45
Tabla 4. 1 Coeficiente k (Sriramulu, V. 2006).	63
Tabla 5. 1 Herramientas de Visual Basic 2010 Express.	139
Tabla 5. 2 Literales usadas en los subprogramas de DISCON.	146
Tabla 5. 3 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 1 con placa de extremo en cortante.	155
Tabla 5. 4 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 2 con placa sencilla en cortante.	159
Tabla 5. 5 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 3 con placa de asiento atiesada.	162
Tabla 5. 6 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 4 con placa de patín a momento.	168
Tabla 5. 7 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 5 a momento con placa extendida.	172

Lista de figuras

Figura 1. 1 Forjado de acero en herrería (Vero Hoszpodar, 2014).	3
Figura 1. 2 Conexiones con remaches en la Torre Eiffel.	4
Figura 1. 3 Fallas en conexiones (Vázquez, I. 2008).	4
Figura 1. 4 Falla de soldadura en una conexión resistente a momento (Francisco, J. 2018).	5
Figura 1. 5 Tipos de conexiones Precalificadas (FEMA-350, 2000).	6
Figura 1. 6 Tipos de conexiones Precalificadas según el ANSI/AISC 358-16 (Francisco, J. 2018).	7
Figura 3. 1 Ensamble de un tornillo (Modificado de Sriramulu, V. 2006).	18
Figura 3. 2 Tipos y tamaños de agujeros para tornillos (Sriramulu, V. 2006).	21
Figura 3. 3 Conexiones sujetas a fuerzas axiales (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).	23
Figura 3. 4 Conexión de plano doble (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).	23
Figura 3. 5 Espaciamiento de tornillos, con agujeros estándar.	24
Figura 3. 6 Proceso de soldadura SMAW.	32
Figura 3. 7 Tipos de soldadura (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).	34
Figura 3. 8 Posición de soldaduras (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).	34
Figura 3. 9 Juntas de soldadura (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).	35
Figura 3. 10 Ejemplos de símbolos de filete (Sriramulu, V. 2006).	36
Figura 3. 11 Soldadura cargada transversalmente y componentes de una soldadura (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).	40
Figura 3. 12 Tornillos cargados excéntricamente (Jack, C. & Stephen, F. 2012).	41
Figura 3. 13 Soldadura cargada excéntricamente (AISC, 2010).	43
Figura 3. 14 Curvas de conexiones momento-rotación (Modificado de Sriramulu, V. 2006).	47
Figura 4. 1 Conexiones de cortante, con placa de extremo.	52
Figura 4. 2 Conexión de cortante, con placa sencilla o placa de cortante.	61
Figura 4. 3 Conexión de cortante, con asiento atiesado.	75
Figura 4. 4 Conexión con placa de patín.	84
Figura 4. 5 Conexión de momento con placa extendida no atiesada de 4 tornillos.	91
Figura 4. 6 Fuerzas concentradas en la columna y zona de panel.	100
Figura 4. 7 Fuerzas y atiesamiento en la columna.	103
Figura 4. 8 Tres casos de ruptura por bloque de cortante (Modificado de Design examples, versión 14.1, AISC).	116

Figura 5. 1 Interfaz gráfica de Microsoft Visual Basic 2010 Express.	138
Figura 5. 2 Estructura del Software DISCON	140
Figura 5. 3 Diagrama de flujo del subprograma Placa sencilla.	141
Figura 5. 4 Pantalla principal del software DISCON.	143
Figura 5. 5 Menús del programa DISCON.....	144
Figura 5. 6 Ventana Conexiones en Cortante.	144
Figura 5. 7 Ventana Conexión de placa de extremo, en cortante.	145
Figura 5. 8 Entrada de datos en listas desplegables.	145
Figura 5. 9 Datos en ventana y ayudas de diseño.....	147
Figura 5. 10 Salida de datos en pantalla.	147
Figura 5. 11 Ventanas de información.....	148
Figura 5. 12 Vista previa de impresión de los datos calculados.	149
Figura 5. 13 Imprimir o visualizar el plano.	149
Figura 5. 14 Conexión con placa de extremo, en cortante.	152
Figura 5. 15 Ventana de información, Relación (L-Tv).	153
Figura 5. 16 Resultados de la conexión con placa de extremo.....	154
Figura 5. 17 Ventana de impresión/visualización de los resultados.....	154
Figura 5. 18 Ventana de impresión/visualización del plano.	155
Figura 5. 19 Entrada de datos de la conexión con placa sencilla.	156
Figura 5. 20 Ventanas de información en la placa sencilla.	157
Figura 5. 21 Resultados de la conexión con placa sencilla.	158
Figura 5. 22 Ventana de la conexión de asiento atiesada.	160
Figura 5. 23 Resultados de la conexión de asiento atiesada.....	161
Figura 5. 24 Posibles errores en el diseño.	162
Figura 5. 25 Ventana de la conexión con patines.....	164
Figura 5. 26 Datos de la placa de cortante.....	165
Figura 5. 27 Estados límites, cálculo de atiesadores.....	166
Figura 5. 28 Resultados, conexión con placas de patín.	167
Figura 5. 29 Ventana de la conexión de momento con placa de extremo extendida.	169
Figura 5. 30 Diseño de atiesadores.....	170
Figura 5. 31 Resultados de la conexión de momento con placa extendida.	171

Resumen

El diseño de conexiones de acero suele ser un proceso muy tardado cuando se realiza de forma manual ya que en un proyecto pueden existir decenas o cientos de conexiones y siempre existe la posibilidad que en el desarrollo se cometan errores que lleven a diseños erróneos. Una posibilidad para disminuir los tiempos de diseño consiste en automatizar los procesos. Por ello, en este trabajo de tesis se diseñó un software para el diseño de conexiones de acero denominado DISCON.

DISCON se desarrolló en Visual Basic y permite la revisión y diseño de conexiones de acero a cortante con placa de extremo, placa sencilla, asiento atiesado atornillada/soldada y conexiones a momento con placas en patines y placa de extremo, el diseño se realiza en base al AISC 2010. Este programa se diseñó como una herramienta de fácil uso para los alumnos de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH interesados en el diseño de estructuras de acero. Finalmente, puede ser utilizado como herramienta didáctica en el en el aula de clases para el aprendizaje de diseño de conexiones.

Palabras clave:

Software, estructuras de acero, fuerza cortante, momento flexionante, diseño de conexiones.

Abstract

The design of steel connections is usually a very slow process when it is carried out manually since there may be tens or hundreds of connections designed in a real project and there is always the possibility that errors are made that lead to inadequate designs. One possibility to reduce the design period of time is to automate the design process. To this purpose, a software for the design of steel connections called DISCON was developed in this thesis.

DISCON was programmed in Visual Basic and it allows to check and design of steel connections such as end plate for shear, single plate, bolted / welded stiffened seat and moment connections with plates in skids and end plate, the design is made in base to the AISC 2010. This software was designed as an easy-to-use tool for students of the School of Civil Engineering at the UMSNH interested in the design of steel structures. It can also be used as a didactic tool in the classroom for learning connection design process.

Keywords:

Software, connections, steel structures, shear force, bending moment, steel connection design.

Introducción

En el presente trabajo de tesis se elaboró un software que permite diseñar algunas conexiones de acero a cortante y flexión más utilizadas en la construcción de edificaciones en México. Cuando se realiza un diseño de manera manual por lo general es tedioso y consume mucho tiempo de cálculo, si el diseño se realiza con la ayuda de algún software de computadora, en minutos realizamos una infinidad de diseños de conexiones. Dentro de la ingeniería civil el uso de computadoras cada vez es más común para las diferentes áreas como es el caso de estructuras de acero o concreto reforzado, por tal motivo a los profesionistas se les ha facilitado el trabajo con el uso de software especializados debido a que permiten diseñar de manera clara, precisa y rápida las conexiones de acero en proyectos de gran envergadura.

En la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH los esfuerzos son cada vez mayores para el desarrollo de software educativos que permitan a los alumnos adentrarse en el mundo de la tecnología, como es el caso de algunos softwares creados por alumnos en el área de estructuras para agilizar los procesos de cálculo y que los docentes los puedan emplear como herramientas de enseñanza en las diferentes materias de estructuras de acero de la facultad. Este trabajo constituye un esfuerzo más, encaminado a diseñar un software educativo, orientado al diseño de conexiones a cortante y flexión de perfiles de acero con bases en las especificaciones, códigos de construcción, normas y reglamentos utilizados en México.

En la actualidad se cuentan con software enfocados al diseño de conexiones creadas por empresas como T-Connect, RAM Connection, etc. que, si bien contemplan los reglamentos más actuales, la adquisición de algún producto es elevado para un estudiante y el enfoque es muy profesional, debido a esto nos dimos a la tarea de crear un software que contribuya al aprendizaje en el aula de clases de acuerdo a las especificaciones que rigen el diseño de las conexiones de acero.

En el Capítulo 1.- Estado del arte, se abordan los temas de los reglamentos, evolución de conexiones y software de diseño de conexiones, el Capítulo 2.- Diseño estructural en acero, se tratan los temas de criterios de diseño y acero estructural, en el Capítulo 3.- Conexiones en estructuras de acero, hablaremos de los tornillos, soldaduras, conexiones sujetas a cortante excéntrico y conexiones en estructuras, el Capítulo 4.- Ejemplos de diseño de conexiones, trataremos la teoría y ejercicios de conexiones en cortante simple y conexiones a momento de diferentes diseños, el Capítulo 5.- Software DISCON para diseño de conexiones de acero,

hablaremos del entorno del trabajo del software DISCON, el manual de usuario y ejemplos de aplicación de las conexiones de cortante y momento. Esperando que este trabajo de tesis sea de su interés y agrado.

Objetivo

Este trabajo tiene como finalidad crear un software didáctico para diseño de conexiones en acero, que sea fácil de usar y que permita avanzar en el aprendizaje de los alumnos en el diseño de conexiones y que permita comprobar los cálculos realizados de manera manual en el aula de clases. El software contempla en el diseño las especificaciones del Manual AISC, edición 14.

Capítulo 1.- Estado del arte

1.1.- Reglamentación existente de diseño de estructuras de acero

Los reglamentos para el diseño de estructuras son documentos legales que se realizan en razón de los avances tecnológicos y tienen como finalidad proporcionar seguridad a las construcciones y con ello proteger a la población. En México las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero (NTC-Acero, 2017) proporcionan las bases de diseño, criterios que son utilizados en todo el país con el objetivo de que las construcciones sean seguras para los usuarios. En las NTC-Acero 2017, en el capítulo 10 *Conexiones*, se hace referencia a los elementos de conexión, conectores y elementos involucrados de los miembros conectados no sometidos a condiciones de fatiga. Se describen las partes de la conexión como: conectores (soldaduras, tornillos y remaches), las características que deben cumplir los miembros de conexión (almas de vigas, patines); por otro lado, en la sección 10.4 *Elementos que forman parte de conexiones entre miembros*, se aplica al diseño de los elementos de conexión, como placas en nudos de armaduras, ángulos, ménsulas y a la zona común a dos miembros de conexión viga-columna. La sección 10.9 se hace referencia a las conexiones rígidas directamente conectadas entre vigas y columnas, las cuales pueden ser soldadas o atornilladas usando tornillos de alta resistencia. El tema de las conexiones las aborda de una manera general y no muestra el diseño detallado de los elementos de unión, como son atiesadores, placas, ángulos y ménsulas, ni como deberá de efectuarse su revisión. Por otro lado, permiten utilizar reglamentos internacionales como pueden ser las especificaciones del American Institute of Steel Construction (AISC), American Welding Society (AWS), American Society for Testing Materials (ASTM), etc.

Por otro lado, también existe en nuestro país para el diseño de estructuras de acero el Manual de Construcción de Acero, 5 edición, editado por el Instituto Mexicano de Construcción en Acero, A.C. (IMCA, 2014), en el capítulo J *Diseño de conexiones* hace referencia a los elementos de conexión, conectores y miembros de la conexión, que no se encuentran sometidos a cargas de fatiga. Permittiéndonos diseñar las conexiones simples de tal manera que sean capaces de resistir toda la fuerza cortante que se aplique sobre esta. Para conexiones a momento en la sección B3.6b se establece el criterio para diseñar conexiones por momento. Este manual está basado en la interpretación y adaptación de las normas americanas AISC, 2010 por ejemplo el documento Specification for Structural Steel Building AISC 360-10 entre otros, por lo cual todas las especificaciones y normas de estos manuales coinciden para ser usados en el diseño de

conexiones de acero, dando lugar a que se puedan trabajar en el sistema inglés o el sistema internacional.

El reglamento municipal que rige en la ciudad de Morelia es el Reglamento para la Construcción y Obras de Infraestructura del municipio de Morelia del año 1999 (RCOIM, 1999). En el título tercero *Normas de seguridad estructural*, capítulo III *Criterios de diseño estructural*, artículo 72, hace mención que toda estructura y cada una de las partes se debe de diseñar para el cumplimiento de los requisitos de seguridad para todos los estados límites de falla posibles ante las combinaciones de acciones más desfavorable y de los estados límites de servicio ante las combinaciones correspondientes a condiciones normales de operación, todo esto durante la vida útil de la estructura. El RCOIM no aborda el tema de conexiones de acero, su diseño o métodos a emplear.

El Manual de Construcción en Acero (Steel Construction Manual), 14 edición, del año 2010 publicado por el Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC, 2010), en la parte 10 *Diseño de conexiones de cortante simple*, parte 11 *Diseño de conexiones de momento parcialmente restringidas* y parte 12 *Diseño de conexiones totalmente restringidas*. Nos habla de las conexiones simples en córtate (placa de extremo, placa sencilla, asiento atiesado, etc.) y de momento parcialmente restringidas (ángulos y placas en el alma, placas en patines y alma) también de las conexiones a momento totalmente restringidas (placa extendida de extremo y placas en patines y almas, etc.), así como de su análisis, diseño y recomendaciones de uso, cuenta con diferentes versiones de manuales de ejemplos de diseño (14.1 y 14.2) para el uso adecuado del manual y la interpretación de las tablas, formulas y recomendaciones del manual de construcción en acero.

Este manual es el más completo de los anteriores mencionados, ya que el AISC es una organización que año con año reúne información sobre el uso de las conexiones, su diseño, montaje, para asegurar un correcto funcionamiento de las conexiones futuras bajo los estados límites de falla y servicio que llegarán a presentarse.

1.2.- Evolución de las conexiones

Desde la aparición del hierro y su combinación con carbono para la obtención del acero desde hace más de 2000 o 3000 años, el uso de este material en la construcción ha ido tomando gran importancia y su aceptación cada vez es más amplia, principalmente en edificios muy altos en las grandes ciudades del mundo, puesto que el diseño, ensamble y montaje de las conexiones es más rápido, económico y seguro en comparación con otros materiales de construcción.

1.2.1.- Conexiones en el pasado

Las primeras conexiones para unir dos o más elementos de acero que tal vez se empezaron a utilizar fue el *forjado* de las partes a unir (ver Figura 1.1), proceso que consiste en cambiar la forma de un metal caliente por medio de golpes intermitentes de un martillo o por presión en una prensa en donde el metal se hace más denso y se elevan las propiedades mecánicas, este proceso solo daba buenos resultados en conexiones pequeñas como espadas, cuchillos, machetes, armaduras de soldados, etc., pero para el uso en la construcción civil, este era un método muy largo, riesgoso y requería de grandes suministros de materiales. Actualmente el forjado se utiliza para la herrería y la realización de artesanías en algunos lugares de México.



Figura 1. 1 Forjado de acero en herrería (Vero Hoszpodar, 2014).

Hace varios años el uso de los *remaches* fue el método más utilizado para unir los elementos de las estructuras de acero (la torre Eiffel en París, Francia cuenta con aproximadamente 2 500 000 remaches y 7 300 toneladas de hierro) se fabrican de acero de grado dulce que no se vuelve frágil al ser calentado y moldeado con golpes de una pistola moldeadora o un martillo para formar la cabeza. La configuración consta de un vástago cilíndrico de acero con una cabeza redonda en uno de sus extremos, el agujero se realizaba previamente, se colocaban los elementos de unión, el remache se calentaba hasta un color rojizo (aproximadamente 982 °C) y se insertaba en el agujero formando la cabeza del otro lado del vástago. Al enfriarse los remaches se contraían y apretaban las partes conectadas causando una transferencia de esfuerzos de fricción a las partes conectadas, esta fricción no era tan confiable por lo que no se permitía la inclusión en la resistencia de una conexión.

Cuando se enfriaban los remaches se contraían tanto en la dirección longitudinal como transversal volviéndose más pequeños que los agujeros donde se incrustaban. El uso de los remaches no proporciona las conexiones más económicas debido a un elevado gasto en su utilización (se

necesitaban como mínimo de 4 personas para colocar un remache en la obra) y están siendo obsoleto en el uso en la industria de Ingeniería Civil. Actualmente se utilizan en la herrería, muebles, electrodomésticos, industria automotriz y en pequeñas obras de menor interés.



Figura 1. 2 Conexiones con remaches en la Torre Eiffel.

1.2.2.- Conexiones en la actualidad

Hasta los años 70's el tipo de conexiones más común era la conexión viga columna directa, parcial o totalmente soldada. El 17 de enero de 1994 con el sismo de Northridge en California se puso en evidencia el comportamiento de las conexiones mencionadas (Ver Figura 1.3 y 1.4) que hasta esta época se conocían y se elaboraban, pero muchas de estas no soportaron las cargas producidas por el sismo y como consecuencia colapsaron, ocasionando cuantiosos daños materiales y humanos, mostrando que el comportamiento de las conexiones no era aún lo suficientemente adecuado para asegurar los objetivos que se tenían en aquel entonces.



Figura 1. 3 Fallas en conexiones (Vázquez, I. 2008).

A partir del año de 1960 en EEUU y Japón se construyeron edificios con conexiones soldadas para marcos a momento, que para esta época se consideraban resistentes a los sismos, pero desafortunadamente fallaron cuando se presentaron los sismos de Northridge en 1994 y de Kobe en 1995 respectivamente, debido a que las prácticas comunes antes de estos sismos no eran las mejores para una zona sísmica. Una consistía en utilizar solo dos marcos rígidos en cada dirección ortogonal, la resistencia que proporcionaban las conexiones totalmente soldadas se

consideraban suficientes, a partir de 1960 se empezó a utilizar de manera alternativa los patines soldados y almas atornilladas, estas resultaban con ductilidad suficiente y eran más económicas.



Figura 1. 4 Falla de soldadura en una conexión resistente a momento (Francisco, J. 2018).

Como consecuencia de los daños que ocasionaron los sismos de Northridge y Kobe el documento Federal Emergency Management Agency 350 (FEMA 350, 2000) reúnen nuevas conexiones trabe-columna precalificadas para zonas de alta sismicidad de los EEUU, algunas de las conexiones que cumplen con los requisitos sísmicos y que fueron ensayados en varias instituciones públicas y privadas son las que a continuación se mencionan.

- 1) Conexiones soldadas con patines libres (welded free flange connection, FF), ver Figura 1.5a
- 2) Conexión con viga de sección reducida o hueso de perro (reduced beam section connection, RBS), ver Figura 1.5b
- 3) Conexión con placa extrema extendida atornillada, no atiesada (bolted un-stiffened end plate connection, BUEP), ver Figura 1.5c
- 4) Conexión con placa extrema extendida atornillada atiesada (bolted unstif-fened end plate connection, BUEP), ver Figura 1.5d
- 5) Conexión con placas atornilladas a los patines de la trabe (bolted flange connection, BFP), ver Figura 1.5e
- 6) Conexión con tes atornilladas a los patines de la columna y de la trabe (double split tee connection, DST), ver Figura 1.5f

Las conexiones precalificadas (trabe-columna) de uso común en México en zonas de alta sismicidad son las conexiones soldadas con patines libres y la conexión con placa extrema extendida atornillada atiesada (Revista Mexicana de la Construcción, 2017), por otro lado, el AISC estableció un procedimiento de diseño para cada una de las conexiones precalificadas basándose

en resultados de las pruebas de laboratorio. En el documento FEMA-353 se dan las recomendaciones que deben considerarse en el diseño, supervisión y ejecución de las soldaduras de las conexiones antes mencionadas.

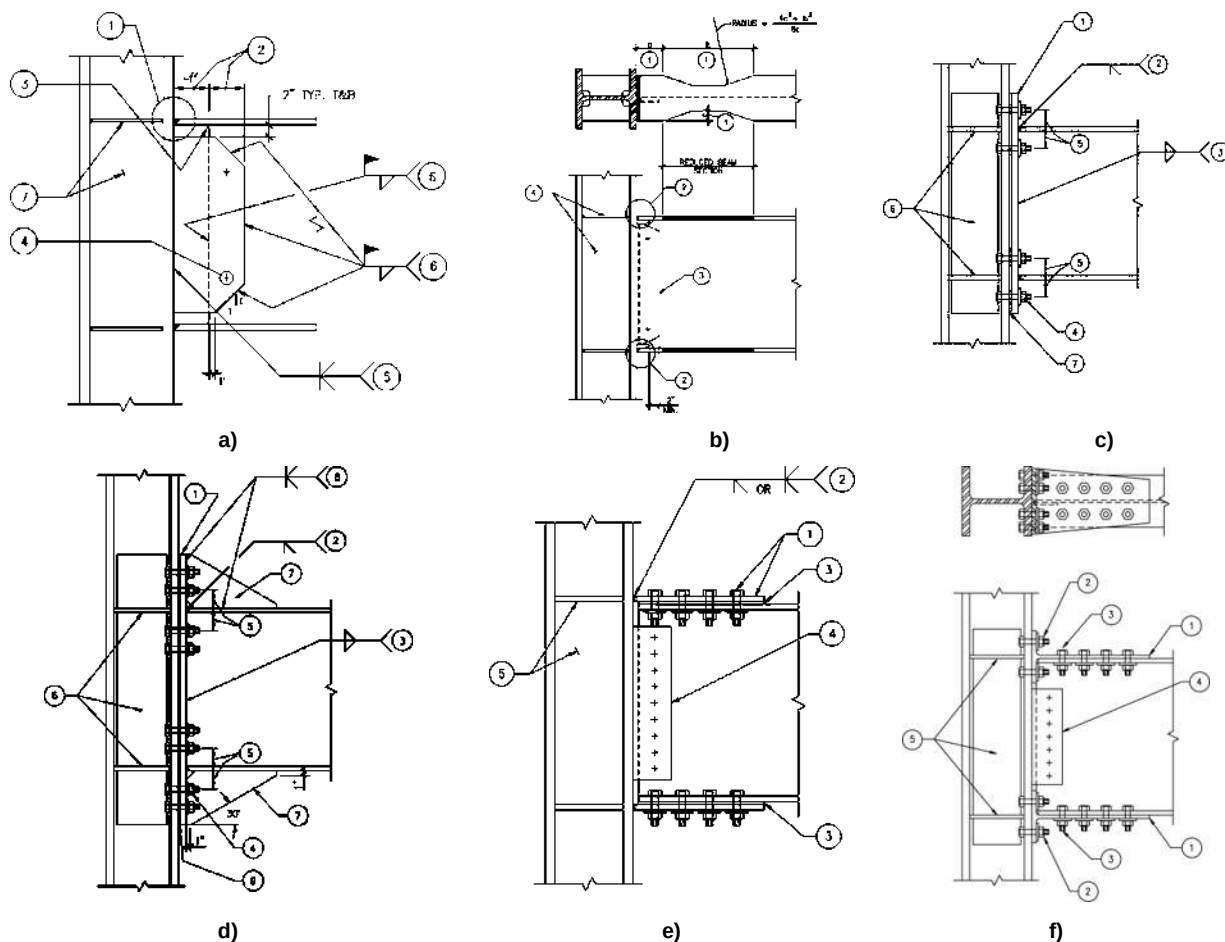


Figura 1. 5 Tipos de conexiones Precalificadas (FEMA-350, 2000).

El reglamento ANSI/AISC 358-16 Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications indica los criterios de diseño, detalles y fabricación para las nuevas conexiones precalificadas, las conexiones son las siguientes.

- 1) Conexión viga reducida (RBS, Reduced Beam Section). Figura 1.6a
- 2) Conexión con placa de extremo extendida atornillada no rigidizada (BUEEP, Bolted Unstiffened Extended End Plate). Figura 1.6e
- 3) Conexión con placa extrema extendida atornillada rigidizada (BSEEP, Bolted Stiffened Extended End Plate)

- 4) Conexión con placa atornillada al ala (BFP, Bolted Flange Plate). Figura 1.6b
- 5) Conexión al patín soldado no reforzada y alma soldada (WUF-W, Welded Unreinforced Flange-Welded web). Figura 1.6c
- 6) Conexión Kaiser atornillada (KBB, Kaiser Bolted Bracket), sistema patentado. Figura 1.6d
- 7) Conexión ConXtech ConXL, sistema patentado. Figura 1.6f
- 8) Conexión a momento con placas laterales Side - Plate, sistema patentado.
- 9) Conexión Simpson-Tie Strong Frame, sistema patentado.
- 10) Conexión a momento Doble T (Double-tee moment connection).



a)



b)



c)



d)



e)



f)

Figura 1. 6 Tipos de conexiones Precalificadas según el ANSI/AISC 358-16 (Francisco, J. 2018).

Para procedimientos de diseño y descripción más detallada se recomienda consultar las recomendaciones del documento AISC 358-16 (AISC, 2016c).

Existen en la actualidad una variedad de conexiones que son capaces de ofrecer un buen comportamiento, las cuales se pueden clasificar de varias formas de acuerdo a su

comportamiento, el sistema estructural, los tipos de conectores, su uso, finalidad, etc., comúnmente se clasifican de acuerdo a las cargas que actúan en estas. Catalogaremos a las conexiones debido a sus solicitaciones que actúan sobre estas, las cargas que deben de resistir las conexiones son las que se generan de las combinaciones de cargas muertas, vivas y accidentales provocando esfuerzos internos axiales, cortantes, torsionales, por flexión, comúnmente se presentan combinaciones de estos. Los esfuerzos deberán de ser resistidos por los elementos de unión, miembros de conexión y conectores (ver Capítulo 3), las clasificaciones serán de conexiones simples y conexiones rígidas (ver Capítulo 4).

En el presente trabajo se incluyen en el software diseñado sólo las conexiones a momento precalificadas con placas atornilladas a los patines de la trabe (Bolted flange connection, BFP), ver Figura 1.5e y las conexiones con placa de extremo extendida atornillada no rigidizada (BUEEP, Bolted unstiffened extended end plate), ver Figura 1.6e. Las conexiones a cortante simple son las de placa de extremo en cortante, placa sencilla y asiento atiesado atornillado/soldado.

1.3.- Software de diseño de conexiones

Un software se define como un conjunto de programas, instrucciones y reglas de programación que permite la ejecución de distintas tareas en una computadora, considerado como el equipamiento lógico e intangible de la computadora. Se puede desarrollar por distintos lenguajes de programación que permiten controlar el comportamiento de la computadora, los lenguajes consisten en conjuntos de símbolos y reglas, que definen el significado de sus elementos y expresiones.

Existen varios tipos de programas para el diseño de conexiones clasificados de acuerdo al valor económico que lleguen a darles sus creadores, como se indica a continuación.

1.3.1.- Software comercial

Son los que se desarrollan específicamente para su venta, pueden estos contar o no con una licencia para su utilización. Un software comercial es fácil de adquirir a través de tiendas especializadas o por internet, pero debido al costo en ocasiones se puede hacer de difícil acceso a uno de estos.

Algunos programas comerciales utilizados para el diseño y cálculo de las conexiones de acero son *IDEA StatiCa Steel* con reglamentos AISC y Eurocódigo (EC) incorporados, *T-Connect* con reglamentos AISC, EC3 y EN 1993-1-8: 2005, *RAM Connection* con reglamentos EC3, IS y GB, *Power Connect* con reglamentos EN 1993-1-8 y AISC-LRFD incorporados.

El software comercial tiene la desventaja de tener un costo muy elevado y en algunos casos la licencia se tiene que renovar periódicamente, en algunas páginas oficiales se pueden descargar programas de prueba generalmente dan de 8 a 30 días para su uso y después automáticamente se bloquean obligando a comprar una licencia. Otra desventaja de estos programas comerciales consiste en que incluyen algunos reglamentos, y el usuario deberá adaptarse al uso de alguno de ellos.

1.3.2.- Software libre

Podemos decir que un software libre se refiere a la libertad de usar el programa con cualquier propósito, de estudiar cómo funciona el programa y realizar cambios de acuerdo a las necesidades del usuario y a la distribución de copias del programa de manera gratuita. En esta clasificación mencionaremos el software elaborado por Acuña T. & Sotelo O. (2014), denominado *Software libre para el diseño de conexiones metálicas de acuerdo con la NSR-10*, realizado en la Facultad de ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. En este trabajo el diseño se basa en el reglamento AIS.NSR-10 (2010) del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR- 10, cabe señalar que también está basada en la literatura del AISC.

1.3.3.- Software didáctico

Son los programas que se emplean para educar al usuario, por sus características ayuda a adquirir conocimiento y desarrollo de las habilidades de quien lo utiliza, pueden ser especiales para el docente que le ayudará a ofrecer su conocimiento a la clase o al alumno ofreciéndole el aprendizaje por su cuenta.

Algunos de los programas de cómputo que se han realizado con la finalidad didáctica en varias universidades de América como parte de la obtención del grado académico, algunos fueron creados para solucionar problemas en específico que se presentan en el lugar, como se describe en los párrafos siguientes.

El programa COMEP desarrollado por Cardoso L. & Quispe S. (2014), en el trabajo *Diseño de conexiones precalificadas bajo AISC para pórticos resistentes a momentos*, realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. Los tipos de conexiones que se pueden realizar son conexiones de sección de viga reducida (RBS), Conexión de placa extrema atornillada rigidizada (BSEEP) y sin rigidizar (BUEEP), Conexión de ala soldada sin refuerzo y alma soldada (WUF-W) y la Conexión de placa de ala atornillada (BPF).

El software Fc Connection desarrollado por Clavijo F. (2016), en el trabajo *Desarrollo de software para diseño de conexiones en estructuras de acero bajo las especificaciones del AISC*, realizado en la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. En este software las conexiones que podemos diseñar son: conexión a tensión ángulo-placa, conexión a tensión placa-placa, conexión a tensión ángulo soldado, conexión a tensión de placa a tubo ranurado, conexión a tensión con placa de extremo, conexión a cortante de placa sencilla, conexión a cortante de asiento no atiesada, conexión a momento con placa de patín atornillada, conexión a momento con viga de sección reducida y conexión a momento atornillada a eje débil de columna.

El *Programa para el diseño de conexiones viga - columna en elementos de acero de sección "I" mediante el método de resistencia última LRFD* desarrollado por Peternell L. (2005), en la Universidad de las Américas Puebla, Puebla, México. Para el diseño de las conexiones de acero podemos realizar las siguientes: Conexiones con dos ángulos, Conexiones de asiento atiesado y no atiesado, Placas de soporte triangulares, Conexiones con dos te's y Conexión con placa de extremo.

Capítulo 2.- Diseño estructural en acero

2.1.- Criterios de diseño

El termino *estado límite* se utiliza para describir una condición en la que una estructura o parte de ella deja de cumplir su función para la cual fue diseñada. Pueden dividirse en dos tipos: estados límite de resistencia y estados límite de servicio.

Los *estados límites de resistencia* están relacionados con la seguridad contra cargas extremas durante la vida útil de la estructura, dependerá de los elementos de conexión, miembros o de la estructura. Algunos ejemplos de estados límites de resistencia son: pandeo local de placas, ruptura de elementos de conexión, pandeo por torsión de una columna, pandeo lateral de una viga, inestabilidad de marcos, inicio de la fluencia, etc. El estado límite de resistencia puede variar de un miembro a otro y puede presentarse varios de estos en un mismo miembro, el estado límite de resistencia que rige, será aquel que dará como resultado la menor resistencia de diseño.

Los *estados límites de servicio* están relacionados con la funcionalidad de la estructura bajo condiciones normales de operación, estos no causan fallas en la estructura, pero la finalidad es que no se causen molestias a los ocupantes, problemas en los elementos no estructurales como grietas en muros divisorios, plafones, aplanados, etc. y evitar el mal funcionamiento en estructuras por el uso diario. Los estados límites de servicio incluyen limitaciones de flexión de una viga, desplazamiento lateral de una columna, vibraciones de una viga de piso, rotación para una conexión, etc.

Actualmente las filosofías de diseño más empleados son el Diseño por Factores de Carga y Resistencia (Load and Resistance Factor Design) y Diseño por Esfuerzos Permisibles (Allowable Stress Design) LRFD y ASD, respetivamente.

En la filosofía LRFD se compara la resistencias requeridas con las fuerzas factorizadas de los elementos estructurales, donde se multiplica la resistencia del material empleado por un factor de reducción de resistencia, que pretende tomar en cuenta algunos factores como el modo de falla involucrado en el estado límite en cuestión y las fuerzas externas o acciones de diseño ante cada una de las acciones de diseño se multiplican por factores de amplificación, conocidos como factores de carga que toman la probabilidad de que se exceda al efecto del conjunto de acciones que interviene en la combinación de cargas que se esté considerando. De esta manera se tienen factores de seguridad que dan lugar a niveles de seguridad razonablemente uniformes. En la

filosofía del ASD se utilizan las cargas reales, las cargas cuantificadas se mantienen sin cambio y la resistencia del material se reduce mediante factores de reducción de resistencia o factores de seguridad.

2.1.1.- Diseño por el método LRFD

En el método LRFD, una vez calculadas las cargas de servicio a considerar se forman combinaciones de carga, en donde cada uno tiene que estar formado de varias condiciones en que la estructura pueda estar en posible riesgo de falla. Cada combinación se multiplicará por un factor de carga generalmente mayor a 1.0, la magnitud del factor de carga reflejará la incertidumbre de la carga en específico, este factor incorporará casos no previstos en el análisis de cargas como las obtenidas de la naturaleza, los esfuerzos producidos durante la fabricación y el montaje, las incertidumbres en la estimación de las cargas vivas, los esfuerzos residuales y concentración de esfuerzos, etc. Los elementos mecánicos más desfavorables resultan del análisis de las diferentes combinaciones de cargas, los cuales se utilizarán para poder determinar las geometrías necesarias de los miembros principales y secundarios de la estructura.

En general la filosofía de diseño indica que la resistencia de diseño debe ser mayor o igual a las acciones incluyendo los factores de carga y se puede expresar en forma matemática como sigue:

$$\phi R_n \geq R_u \quad \text{Ec.2.1}$$

Donde:

ϕ = Factor de reducción de resistencia. (0.9 para estados límites que involucren fluencia, 0.7 para estados límites que involucren ruptura).

R_n = Resistencia nominal del miembro.

R_u = Resistencia solicitada.

Combinaciones de cargas

Las combinaciones de carga varían según el reglamento utilizado, en el caso del AISC se especifican las siguientes combinaciones de carga, las cuales son utilizadas para determinar las cargas más desfavorables.

$$\begin{aligned} &1.4D \\ &1.2D + 1.6L + 0.5 (L \text{ o } S \text{ o } R) \\ &1.2D + 1.6 (L \text{ o } S \text{ o } R) + (L \text{ o } 0.5W) \\ &1.2D + 1.0W + L + 0.5 (L \text{ o } S \text{ o } R) \end{aligned} \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$1.2D + 1.0E + L + 0.2S$$

$$0.9D + 1.0W$$

$$0.9D + 1.0E$$

Donde:

D = Carga muerta.

L = Carga viva debida a la ocupación de la estructura.

S = Carga de nieve.

R = Carga debida a la precipitación pluvial o el hielo.

W = Carga de viento

E = Carga de sismo

En el desarrollo del presente trabajo utilizaremos el diseño LRFD descrito con anterioridad; por otro lado, si el lector muestra interés por la filosofía de diseño por esfuerzos permisibles ASD, puede referirse para su consulta en el reglamento del AISC.

2.2.- Acero estructural

El acero estructural es uno de los metales más importantes empleados en estructuras de Ingeniería Civil por su alta resistencia en tensión y compresión, con alta rigidez (módulo de elasticidad) y por ser fácil, rápido y relativamente silencioso el montaje, desde el surgimiento del acero y su utilización en la construcción se han ido modificando sus propiedades mecánicas y físicas para satisfacer cada finalidad en el que se ha empleado; por otro lado, existen varios grados de acero y se clasifican generalmente por su resistencia a la fluencia, F_y , es utilizado en la industria de la construcción, petrolera, mecánica, etc. Las propiedades mecánicas del acero han evolucionado debido a las necesidades de cada campo y sus aplicaciones.

2.2.1.- Ventajas y desventajas de acero estructural

El acero estructural tiene algunas ventajas respecto a otros materiales de construcción, que lo hacen elegible como primera opción, entre las ventajas más importantes se mencionen las siguientes:

Alta resistencia: La relación resistencia/peso del acero es de gran importancia en la construcción de edificios debido a que en la actualidad se construyen rascacielos con casi en su totalidad de

acero debido a que la resistencia es muy grande por unidad de peso, esto significa que los edificios serán muy livianos comparados por ejemplo de una estructura de concreto reforzado.

Elasticidad: El acero sigue la ley de Hook, lo cual permite calcular los momentos de inercia exactamente hasta valores de esfuerzos bastante altos comparados con estructuras de concreto.

Durabilidad: Toda estructura se construye para que dure el mayor tiempo posible (costo/beneficio), generalmente su vida útil es de 50 años, por ello si se da el mantenimiento adecuado a las estructuras de acero duraran más de lo previsto.

Uniformidad: Las propiedades físicas y mecánicas del acero estructural no se modifican con el tiempo y es por ello que es elegido en comparación con el concreto reforzado.

Ductilidad: Cuando el acero dulce o bajo contenido de carbón se somete a tensiones altas ocurre una reducción de la sección transversal y un alargamiento del material antes de que llegue a la falla, esta propiedad del material se llama ductilidad. Cuando un material no tiene esta propiedad por lo general falla frágilmente y será rechazada por los ingenieros estructuristas.

Tenacidad: Es la propiedad de un material que le permite absorber energía en grandes cantidades es decir poseen ductilidad y resistencia, por ello es posible perforar, taladrar, doblarlos, martillarlos y cortarlos sin que existan fracturas o daños aparentes en el elemento de acero.

Por otro lado, el acero estructural tiene algunas desventajas respecto a otros materiales usados en la construcción, como por ejemplo las siguientes:

Corrosión: Si la estructura se encuentra en una zona costera, estará expuesta a las condiciones extremas del medio ambiente (agua, vientos, sal), por lo cual se debe de pintar para prevenir daños a la estructura, en general la corrosión depende de las condiciones climáticas y se pueden evitar con un mantenimiento o implementando el uso de aceros intemperados.

Fractura frágil: Se presenta por la aplicación de una carga repentina o por concentraciones de esfuerzos altos o mayores a los resistidos por el elemento, también por esfuerzo triaxiales y de fatiga combinadas con bajas temperaturas conducen a la fractura frágil.

Fatiga: cuando se somete a cargas cíclicas o cambios de esfuerzos en tensión constantes se puede reducir su resistencia, generalmente la fatiga se presenta cuando existen tensiones en los miembros de acero.

Pandeo: El acero utilizado a compresión como columnas esbeltas comparadas con su longitud tiende a ser susceptible al pandeo local o global, para prevenir esto se necesita de acero adicional como atiesadores lo cual puede elevar el costo de la estructura.

2.2.2.- Tipos de acero estructural

Comúnmente se fabrican elementos de acero con diferentes formas geométricas como pueden ser perfiles estructurales en forma de I (W), O, cuadrados, rectángulos, L, zetas, placas, etc., generalmente se designan por la forma de su sección transversal. El acero estructural puede laminarse en una gran variedad de formas y tamaños sin cambio apreciable en sus propiedades físicas, los miembros más utilizados son los que cuentan con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas, por esta razón los perfiles I, T y C son los más comunes en las estructuras de acero.

Las características mecánicas del tipo de acero dependen de la combinación y cantidad de carbono y otros elementos químicos que se adicionan al acero durante el proceso de su fabricación. Por ejemplo, un acero que cumple con la norma NMX B-99 tiene una fluencia de 290 MPa (2950 kg/cm²). El acero NMX B-200 de alta resistencia y baja aleación, de hasta 100 mm de grosor, tiene un límite de fluencia mínimo de 345 MPa (3515 kg/cm²) y es producido con un tratamiento térmico especial, se encuentran tubos de acero al carbón para usos estructurales, formados en caliente, con o sin costura bajo esta norma. La norma B-254 regula casi de manera general los perfiles estructurales más utilizados en la construcción. La NMX B-282, es un acero de baja aleación y alta resistencia; o bien un acero bajo la norma NMX B-284 corresponde a un acero estructural de alta resistencia y baja aleación al manganeso-vanadio, podemos encontrar perfiles W laminados para el uso en edificios con esta norma.

Por otro lado, en los manuales de perfiles estructurales viene indicado bajo que norma se fabrican los distintos perfiles, por ejemplo un perfil IR o W lo podemos encontrar producido bajo las normas B-254, B-284 y B-282 (A36, A572, A992 y A242) dependiendo de las necesidades en particular del proyecto, así cuando la estructura se encuentre expuesta a un ambiente marino próximo a la costa, estará expuesta a altos niveles de corrosión para lo cual es recomendable un acero B-282, pero si hablamos de un edificio ubicado en una zona donde la única preocupación sea asegurar la resistencia de los materiales podemos seleccionar un B-284 por su disposición de fabricación y por qué nos da una mayor resistencia comparadas a otras normas.

A continuación en la Tabla 2.1 se presentan algunos tipos de acero, así como los valores de esfuerzo de fluencia (F_y) y de ruptura en tensión (F_u), así mismo se muestra la norma mexicana NMX aplicable y su equivalente ASTM.

Tabla 2. 1 Tipos de aceros estructurales.

Norma		F_y		F_u	
NMX	ASTM	Mpa	Kg/cm ²	Mpa	Kg/cm ²
B-254	(ASTM A36)	250	2530	400 a 550	4 080 a 5 620
B-99	(ASTM A529)	290	2 950	414 a 585	4 220 a 5 975
B-282	(ASTM A242)	290	2 950	435	4 430
B-284	(ASTM A572)	290	2 950	414	4 220
B-200	(ASTM A588)	345	3 515	483	4 920
B-200	(ASTM A913)	345 a 483	3 515 a 4 920	448 a 620	4 570 a 6 330
B-284	(ASTM A992)	345	3 515	450 a 620	4 570 a 6 330
B-177	(ASTM A53, grado B)	240	2 460	414	4 220
B-199	(ASTM A500)	320	3 235	430	4 360
B-200	(ASTM A501)	250	2 530	400	4 080

En México el acero estructural más utilizado es el B-254 (ASTM A36), pero debido al crecimiento de la industria y las necesidades de los nuevos métodos de construcción, así como de resistencias cada vez más elevadas de los aceros, éstos han ido evolucionando a través de los años. Actualmente existen en el mercado más de 200 aceros con esfuerzos de fluencia mayores de 36 klb/plg² y se espera que en los próximos años esta resistencia aumente en los perfiles estructurales.

Capítulo 3.- Conexiones en estructuras de acero

Las *conexiones* deberán de ser capaces de transmitir los elementos mecánicos de los miembros que unan, satisfaciendo las condiciones de restricción en sus apoyos y continuidad supuesta en el análisis de la estructura. Las conexiones se forman por las partes de los miembros conectados (almas o patines de vigas y columnas), elementos de unión (atiesadores, placas, ménsulas, ángulos) y por conectores (soldaduras, tornillos y remaches). Las conexiones se diseñan para que su resistencia sea igual o mayor que la sollicitación de diseño correspondiente.

Un *tornillo* es una pequeña barra metálica con sección transversal circular, con una cabeza en un extremo y espiga roscada en el otro para recibir una tuerca y en ocasiones una rondana si así el proyectista lo requiere, por lo general la cabeza y la tuerca son de forma hexagonal y del mismo diámetro. De acuerdo al material y resistencia, se pueden clasificar como tornillos estructurales ordinarios y como tornillos de alta resistencia, actualmente los tornillos de alta resistencia son los más empleados para las uniones en las estructuras de acero. Las *soldaduras* son procesos de conexión entre piezas de acero (miembros conectados y elementos de unión) que se realizan mediante metal fundido producido por la aplicación de calor, este se obtiene al pasar un arco eléctrico entre las piezas a unir y una varilla de acero denominada electrodo.

Podemos elegir una conexión totalmente atornillada, soldada o una combinación de tornillos y soldadura, por ejemplo, es común que los perfiles de acero que servirán como columnas se suelden en taller los elementos de unión y se atornillen en campo a las vigas. Si por alguna razón la estructura se tendrá que desmontar en el futuro, o si se requieren estructuras secundarias, es conveniente que las conexiones se realicen totalmente atornilladas, esto facilitará el desmontaje de las partes.

3.1.- Tornillos

Los tornillos se han empleado desde hace pocas décadas como se mencionó anteriormente, reemplazando el uso de remaches en la construcción de obras diversas como puentes, edificios, tanques elevados, entre otras estructuras de grandes dimensiones. Actualmente, el montaje de las estructuras de acero al utilizar tornillos es mucho más barato comparado con el uso de remaches, pues no se necesita mano especializada para poder llevar a cabo las operaciones de ensamblaje.

Las conexiones atornilladas presentan algunas ventajas, ya que no se necesita mano de obra especializada, basta con dos personas para colocar un tornillo en su lugar, de igual manera el

equipo a emplear es accesible de adquirirlo. Se pueden realizar en un tiempo relativamente corto, dando oportunidad a cambiar alguna parte de la conexión o miembros de los elementos si se presentaran fallas en la operación de la estructura. Los tornillos los podemos encontrar con facilidad en el mercado, así como su operación y manejo se puede emplear en ambientes adversos y el atornillado es muy silencioso comparado al remachado.

3.1.1.- Tipos de tornillos y pretensiones

Al emplearse una conexión atornillada generalmente está compuesto por un tornillo, una tuerca y de ser necesario una rondana si así lo solicita la especificación para el montaje, la rondana se colocará bajo el elemento que se atornillará (generalmente la tuerca). Para la selección del tamaño nominal del tornillo se escogerá el diámetro (d) de la espiga del tornillo, de la parte sin roscar, en la Figura 3.1 se observa su geometría.

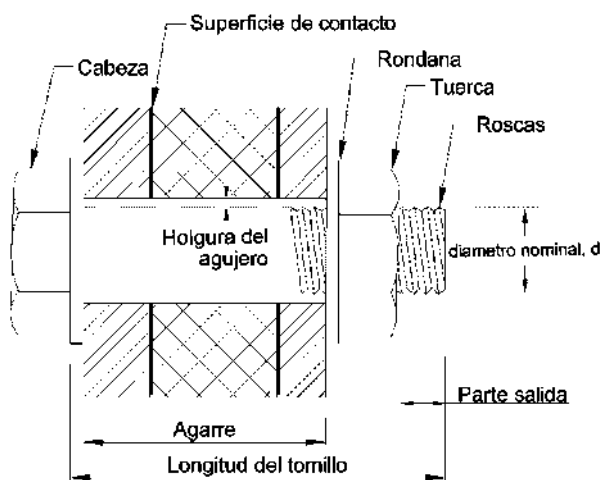


Figura 3. 1 Ensamble de un tornillo (Modificado de Sriramulu, V. 2006).

Las rondanas tienen como finalidad distribuir la fuerza de una manera uniforme y aportar una superficie homogénea para la aplicación de la fuerza, se encuentran regidas por la especificación ASTM F436. Las tuercas tienen un tamaño nominal igual al de la cabeza del tornillo el cual se utilizan comúnmente para los tornillos A325 se utiliza la ASTM A563 grado C, mientras que para los tornillos A490 la tuerca recomendable es la ASTM A563 grado DH (las tuercas de grados C y DH son aceros con carbono, templado y revenida, hexagonales pesadas, donde la diferencia es el endurecimiento que llega a presentarse al aplicar la carga).

El remachado ha sido sustituido por los tornillos en general ya que al realizar la conexión se pueden llegar a los esfuerzos máximos de tensión del tornillo de manera que las partes conectadas quedan unidas fuertemente entre las tuercas del tornillo y su cabeza; esto permite que las fuerzas aplicadas se transmitan por fricción principalmente, a diferencia de los remaches que no se pueden aplicar fuerzas de tensión muy grandes pues tiende a moverse de su posición original y con el paso del tiempo se tienen que remplazar por nuevos remaches.

En el mercado es posible encontrar tornillos que se utilizan para conectar las diferentes partes de las conexiones de acero, se pueden clasificar por la resistencia del material, como los tornillos ordinarios o comunes que se fabrican con acero al carbón ASTM A307 o NMX H118, de donde tiene origen su designación y sus características esfuerzo-deformación son similares a las del acero A36. Su disposición de diámetros va de $\frac{1}{4}$ hasta 4 in, en incrementos de $\frac{1}{8}$ in, generalmente no cuentan con marcas de identificación sobre su cabeza y cuentan con una resistencia mínima a la tensión de 60 ksi. Los tornillos estructurales ASTM A325/A325M o NMX H124 se fabrican con acero al carbón mediano, tratado térmicamente, se identifican por el tamaño de la cabeza y la longitud sin roscar del cuerpo, el tamaño de la rosca y la cabeza del perno tienden a ser del mismo diámetro facilitando el uso de la misma llave para su ensamblado. Su disposición de diámetros va de $\frac{1}{2}$ hasta $1\frac{1}{2}$ in en incrementos de $\frac{1}{8}$ in con marcas en la cabeza. Y cuentan con una resistencia mínima a la tensión entre 105 y 120 ksi. Los tornillos ASTM A490/A490M se fabrican con acero aleado templado y tratado térmicamente, en general son de mayor resistencia que los H124 (A325) pero de iguales características físicas. Y cuentan con una resistencia mínima a la tensión de 150 ksi.

Dentro de las conexiones con tornillos existen diferencias entre los tipos de juntas que se utilizan, dependiendo de la carga que los sujetadores deben de soportar y para ello se conocen como *tornillos apretados sin holgura*, esta condición se obtiene cuando un obrero realiza la conexión llevándola a un apretado con el esfuerzo total que se aplica con una llave de cola o ya sea con una llave neumática mediante algunos impactos. Este tipo de instalación es rápida y económica pues su inspección solo es visual para asegurar el trabajo realizado, el uso de este tipo de conexión deberá estar especificado en los planos de diseño y en los de montaje para su correcto uso. Por otro lado, los tornillos en *juntas pretensionadas* se lleva a esfuerzos de tensiones alrededor de 70% de sus esfuerzos mínimos a tensión, su apretado consta de dos etapas, la primera es llevarla al apretado sin holgura, después se pueden utilizar varios métodos como el del giro de la tuerca, llave calibrada, indicador de tensión directa, entre otros. La aplicación de este método se realiza cuando las cargas pudieran ser totales o casi totales en una dirección, después la carga puede cambiar en sentido inverso, generalmente esta condición se presenta en cargas

sísmicas o cargas cíclicas. *Conexión de fricción* tiene en particular el tratamiento de la superficie de contacto o de empalme, la instalación es idéntica a la conexión pretensionada. El uso de este tipo de unión es común en situaciones donde esté involucrado el cortante o una combinación de cortante y tensión aplicada por las cargas, no es común en juntas que involucren solo tensión.

Tabla 3. 1 Pretensión mínima en los tornillo, klb* (Jack, C. & Stephen, F. 2012).

Tamaño del tornillo, in.	Grupo A (Tornillo A325)	Grupo B (Tornillo A490)
1/2	12	15
5/8	19	24
3/4	28	35
7/8	39	49
1	51	64
1 1/8	56	80
1 1/4	71	102
1 3/8	85	121
1 1/2	103	148

*Igual a 0.70 veces la resistencia mínima a la tensión de los tornillos, redondeada al kip (klb) más cercano, como se estipula en las especificaciones ASTM para tornillos A325 y A490M con rosca UNC (Unified National Coarse "Gruesa Nacional Unificada").

En la Tabla 3.1 se dan las pretensiones mínimas de los tornillos utilizadas en conexiones resistentes al deslizamiento y en conexiones sujetas a tensión directa y se encuentran agrupadas según la resistencia del material donde:

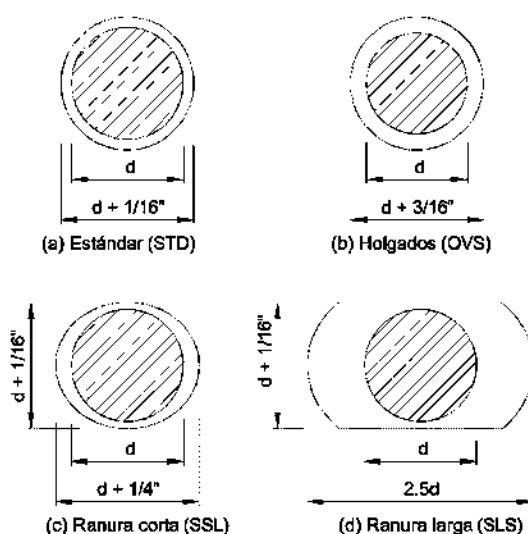
El grupo A comprende los tornillos ASTM A325, A325M, F1852 A354 grado BC y A449.

El grupo B a los tornillos: B-ASTM A490, A490M, F2280 y A354 grado BD.

3.1.2.- Tamaño de los agujeros

Hay 4 tipos de agujeros (ver Figura 3.2) que se pueden emplear y generalmente tiene que ver con la posición de la carga aplicada a cortante y del comportamiento que se desee obtener de la conexión, para ello se realizan taladrando, punzando, de manera térmica o corte con plasma sobre el acero el agujero. Comúnmente se realizan de manera punzonados para obras en edificios y puentes en carreteras, para ello se requiere que el material sea menor o igual al diámetro nominal del tornillo mas $\frac{1}{8}$ in, si el agujero es mayor al diámetro nominal del tornillo se realizará el agujero mas $\frac{1}{8}$ in y es necesario rimarlo, lo anterior consiste en subpunzonar el agujero y después escariarlos hasta el diámetro del tornillo mas $\frac{1}{16}$ in.

El agujero más utilizado es el de tamaño *estándar* (STD) que es $\frac{1}{16}$ in de mayor diámetro que los correspondientes tornillos, el ensanchamiento garantiza un ensamble con mayor facilidad y permiten un juego de las partes a conectar por si existen irregularidades en su fabricación o montaje. Los *agujeros holgados* (OVS) son $\frac{3}{16}$ in mayores al diámetro del tornillo y se pueden usar en todas las placas de una conexión por lo general siempre que la carga aplicada no exceda a la resistencia permisible al deslizamiento. No se deben utilizar en juntas de tipo aplastamiento, para su uso se necesitan de rondanas templadas. La utilización de los *agujeros de ranura corta* (SSL) no depende de la dirección de la carga aplicada para conexiones en deslizamiento crítico, para conexiones tipo aplastamiento las ranuras se realizan perpendiculares a la dirección de la carga aplicada, su uso requiere de rondanas. Por ultimo tenemos a los *agujeros de ranura larga* (LSL) su uso es en juntas tipo aplastamiento, la dirección de la carga debe de ser normal (entre 80 y 100 grados) a los ejes de los agujeros, las rondanas a utilizar no deben de ser menor a $\frac{5}{16}$ in de espesor, estos agujeros se utilizan comúnmente en conexiones de estructuras existentes donde la posición de los miembros a unir no se conocen.



Nota: los tamaños dados son para $d = \frac{5}{8}, \frac{3}{4}$ y $\frac{7}{8}$ in

Figura 3. 2 Tipos y tamaños de agujeros para tornillos (Sriramulu, V. 2006).

3.1.3.- Conexiones simples

Cuando los tornillos de alta resistencia se tensan, las partes conectadas quedan unidas fuertemente (tuercas, rondanas, tornillos, placas y perfiles de acero) entre sí, el resultado es una considerable resistencia al deslizamiento en la superficie de contacto, la resistencia mencionada se origina por la fuerza al apretar el tornillo multiplicada por el coeficiente de fricción. Existen dos

tipos de conexiones que trabajan en base al apriete del tornillo, las de *tipo fricción* donde la fuerza cortante es menor que la resistencia permisible por fricción y *tipo aplastamiento* cuando la carga excede la resistencia por fricción originando un deslizamiento entre las partes conectadas esto generará un posible degollamiento de los tornillos (ver Figura 3.3). Para ambos tipos es indispensable que las partes a unir se encuentren limpias de impurezas (polvo, rebaba, escamas, pinturas, etc.) generadas por el ensamble o fabricación de las partes, para mejorar el factor de deslizamiento se recomienda limpiar con un cepillo de alambre o con un sopleteado con arena la superficie de contacto y evitar en lo posible que este galvanizada, pues esto reducirá a casi la mitad el factor de deslizamiento, aunque la especificación ASTM permite la galvanización de los tornillos A325 pero no de los A490 pues existe el peligro de que el acero se vuelva frágil durante la galvanización debido a la posibilidad de que penetre oxígeno en el acero al realizar las operaciones de limpieza con baño químicos durante el proceso.

Por otro lado, las conexiones sujetas a fuerzas axiales, es decir se supone que las cargas pasan por el centro de gravedad del grupo de tornillos de la conexión, asumiendo que los tornillos no se encuentran lo suficientemente apretados y sin holgura como para oprimir las placas lo suficientemente para mantenerlas en su lugar, como se muestra en la Figura 3.3a, si se supone que existe poca fricción entre la junta de las placas, estas tenderán a deslizarse debido a las cargas aplicadas. Al apretarse los tornillos contra las placas se generará un posible degollamiento del tornillo en el plano de corte entre las placas como se observa en la Figura 3.3b, en este estado los tornillos se encuentran en *cortante simple y aplastamiento*, para prevenir esta situación la resistencia a cortante de los tornillos deberá ser mayor a las fuerzas aplicadas por las cargas.

Cuando se desea unir dos miembros o más en las conexiones, se requerirán de juntas para su correcta transmisión de las cargas y fuerzas generadas, para ello se pueden seleccionar las juntas traslapadas, a tope o de plano doble como se menciona a continuación.

Las *juntas traslapadas* de la Figura 3.3a tienen el inconveniente de que el centro de gravedad de las fuerzas en un miembro no es colineal al centro de gravedad de la fuerza en el otro miembro, presentándose un momento de flexión que no es deseable en la conexión, como se observa en la Figura 3.3c debido a esta situación el diseño se tiene que realizar como mínimo utilizando 2 tornillos en cada línea paralela a la longitud del miembro para minimizar esta posibilidad de falla por flexión. La *junta a tope* de la Figura 3.3d se forma cuando se unen tres miembros en la conexión, si la resistencia al deslizamiento entre los miembros es despreciable los miembros tenderán a deslizarse debido a las cargas aplicadas y tenderán a degollar simultáneamente al tornillo en los dos planos de corte formados. Se conoce también como *cortante doble* y

aplastamiento a esta acción producida al apoyarse los miembros sobre los tornillos, ver Figura 3.3e.

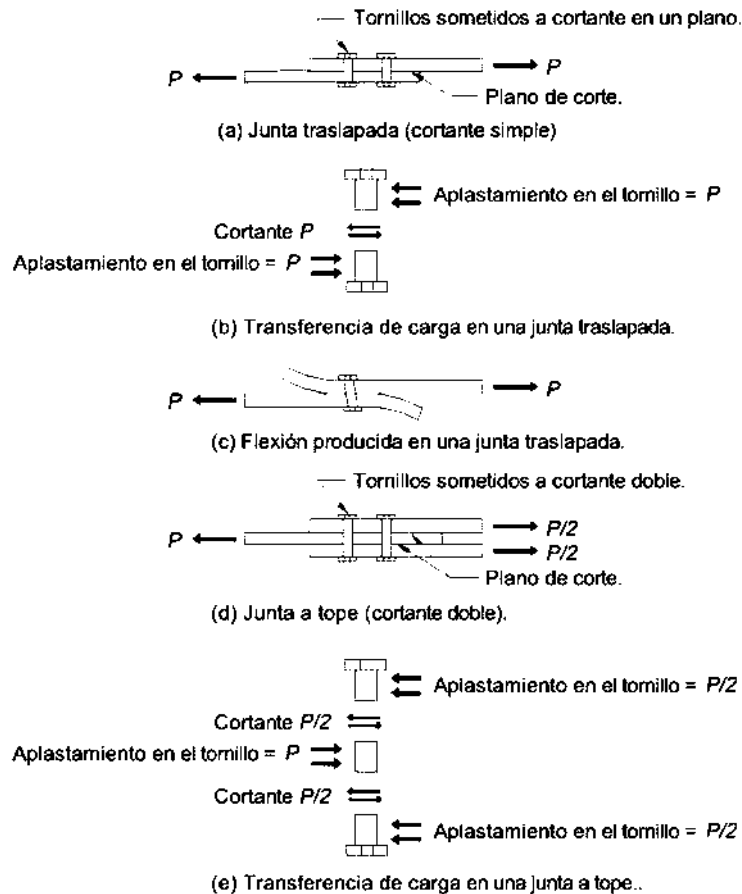


Figura 3. 3 Conexiones sujetas a fuerzas axiales (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).

En las conexiones de *plano doble* los tornillos se encuentran sujetos a cortante simple y aplastamiento y el momento flexionante no se presenta en este tipo de conexión, como se observa en la Figura 3.4.

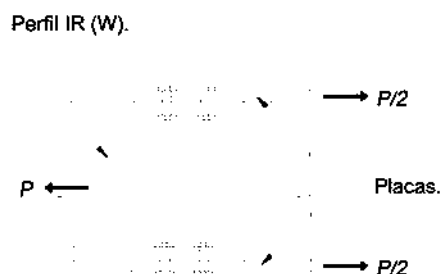


Figura 3. 4 Conexión de plano doble (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).

3.1.4.- Separación y distancias a los bordes

A continuación, apoyándonos en la Figura 3.5 definiremos algunos términos para un grupo de tornillos en una conexión.

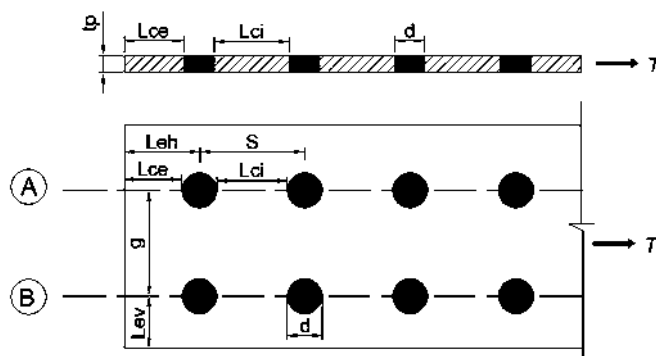


Figura 3. 5 Espaciamiento de tornillos, con agujeros estándar.

A una línea de tornillos por lo general se le denomina *fila de tornillos* que se coloca de manera paralela a la línea de acción de la fuerza del miembro, las filas en la Figura 3.5 son A y B. El *gramil* (g) es la distancia centro a centro entre filas de tornillos perpendiculares al eje del miembro. La *distancia al borde lateral* (L_{ev}) es del centro del tornillo al borde lateral del miembro, en este caso el borde es en sentido paralelo al miembro. La distancia al borde (L_{eh}) es del centro del tornillo al borde lateral del miembro, en este caso el borde es en sentido perpendicular al eje del miembro. *Paso* (S) es la distancia centro a centro de dos tornillos consecutivos en una fila. La *distancia libre, tornillo interno* (L_{ci}) es de borde a borde de dos agujeros consecutivos para tornillos de una fila dada. *Distancia libre, tornillo externo* (L_{ce}) es del borde del agujero al borde del miembro en sentido perpendicular al eje del miembro.

Separación mínima

Los tornillos deberán de colocarse a una distancia donde se pueda realizar sin ningún problema la instalación de estos, se recomienda que las distancias mínimas centro a centro no debe de ser menor de $2\frac{2}{3}$ del diámetro del tornillo (preferentemente 3 diámetros).

Distancia mínima y máxima al borde

Al colocar los tornillos muy próximos a los bordes el punzonamiento de los agujeros pueden ocasionar que el acero de los miembros opuestos a los agujeros se abombe o se apriete y en los extremos de los miembros existe el peligro de que el tornillo desgarré el metal, por ello no se

recomienda que se coloque cercanos del borde los tornillos. Comúnmente se colocan a una distancia de $1\frac{1}{2}$ del espesor del miembro más delgado o 2 veces el diámetro del tornillo de manera que el metal en esta zona tenga una resistencia por lo menos igual al de los sujetadores al cortante. La Tabla 3.2 muestra los valores dados por el AISC para distancias mínimas al borde.

Tabla 3. 2 Distancias mínimas al borde ^[a] del centro del agujero STD ^[b] al borde de la parte conectada (AISC, 2010).

Diámetro del tornillo in	Distancia mínima al borde in
$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{8}$
$\frac{3}{4}$	1
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{8}$
1	$1\frac{1}{4}$
$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{2}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{5}{8}$
Mayores de $1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4} \times \text{Diámetro}$

^[a] Si es necesario, se permiten distancias al borde menores, siempre que se satisfagan las disposiciones apropiadas de las secciones J3.10 y J4 del AISC, pero las distancias al borde menores que un diámetro de tornillo no se permiten sin la aprobación del ingeniero de campo.

^[b] Para los agujeros agrandados o de ranura, ver Tabla J3.5 del AISC.

La *distancia de borde máxima* permisible desde el centro de cualquier tornillo al borde más cercano es de 12 veces el espesor de la placa conectada más delgada, pero no debe exceder 6 in (150 mm).

La *separación* longitudinal máxima centro a centro de los tornillos:

- Para miembros pintados o miembros no pintados que no estén sujetos a la corrosión, el espaciamiento no debe exceder 24 veces el espesor de la parte más delgada o 12 in (305 mm).
- Para miembros no pintados de acero para intemperie sujetos a la corrosión atmosférica, no debe de exceder 14 veces el espesor de la parte más delgada o 7 in (180 mm).

3.1.5.- Resistencia de conexiones tipo aplastamiento

Cuando la carga pasa por el centro de gravedad de la conexión la *resistencia a cortante o tensión* de diseño ϕR_n de un tornillo de alta resistencia instalado en ajuste apretado o pretensado, deberá de ser determinado de acuerdo a los estados límites de ruptura en tensión y ruptura en cortante según sea el caso que se analice, la ecuación es la siguiente.

$$R_n = \phi F_u A_t N_s \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

R_n = Resistencia nominal a tensión o corte, kips.

F_u = Resistencia nominal en tensión, F_{nt} o Resistencia nominal al corte, F_{nv} de la Tabla 3.3, en ksi.

A_t = Área nominal del tornillo, in

N_s = Numero de planos de corte.

$\phi = 0.75$

En las conexiones tipo aplastamiento se supone que las cargas que se van a transmitir son mayores que la resistencia a la fricción generada al apretar los tornillos, esto conlleva a un deslizamiento pequeños entre los miembros conectados, quedando los tornillos sometidos a corte y aplastamiento.

La *resistencia al aplastamiento* está basada en la resistencia de las partes conectadas y del tipo de arreglo de los tornillos, la resistencia depende de la separación entre los tornillos y la distancia al borde, de la resistencia F_u especificada a tensión de las partes conectadas, al igual de sus espesores.

La resistencia de diseño al aplastamiento de los tornillos usados en conexiones con agujeros estándar, holgados o de ranura corta, independientemente de la dirección de la carga aplicada se determina como sigue:

- Cuando la deformación de los agujeros de los tornillos es una consideración de diseño (deformación ≤ 0.25 in), entonces:

$$\phi R_n = 1.2 t l c F_u \leq 2.4 t d F_u \quad \text{Ec. 3.2}$$

- Si la deformación de los agujeros de tornillos no es una consideración de diseño (deformaciones > 0.25 in) y son aceptables, entonces.

$$\phi R_n = 1.5 t l c F_u \leq 3.0 t d F_u \quad \text{Ec. 3.3}$$

Estas expresiones se pueden aplicar también en conexiones con agujeros de ranura larga si las ranuras son paralelas a la dirección de la fuerza de aplastamiento.

Para tornillos que se usan en conexiones con agujeros de ranura larga, donde las ranuras son perpendiculares a las fuerzas.

$$\phi R_n = 1.0 t l c F_u \leq 2.0 t d F_u \quad \text{Ec. 3.4}$$

En las expresiones anteriores ϕR_n es la resistencia de diseño al aplastamiento en kips, el factor de reducción $\phi = 0.75$, d es el diámetro en in nominal del tornillo, t el espesor en in del miembro que aplasta al tornillo, l_c la distancia libre en in, puede ser L_{ce} o L_{ci} definidos en la sección 3.1.4 dependiendo en donde se analiza la resistencia al aplastamiento y F_u es la resistencia mínima especificada a la tensión del material conectado en ksi.

Tabla 3. 3 Resistencia nominal de tornillos y partes roscadas (AISC, 2010).

Descripción del tornillo	Resistencia nominal a la tensión, F_{nt} , ksi (MPa) ^[a]	Resistencia nominal al cortante en tornillos tipo aplastamiento, F_{nv} , ksi (MPa) ^[b]
Tornillos A307.	45 (310)	27 (188) ^{[c][d]}
Tornillos del Grupo A (tipo A325), cuando las roscas no están excluidas (N) de los planos de corte.	90 (620)	54 (372)
Tornillos del Grupo A (tipo A325), cuando las roscas están eXcluidas de los planos de corte.	90 (620)	68 (457)
Tornillos del Grupo B (tipo A490), cuando las roscas no están excluidas (N) de los planos de corte.	113 (780)	68 (457)
Tornillos del Grupo B (tipo A490), cuando las roscas están eXcluidas de los planos de corte.	113 (780)	84 (579)
Partes roscadas que cumplen los requisitos de la Sección A3.4 del Manual, cuando las roscas no están excluidas (N) de los planos de corte.	$0.75 F_u$	$0.450 F_u$
Partes roscadas que cumplen los requisitos de la Sección A3.4 del Manual, cuando las roscas están eXcluidas de los planos de corte.	$0.75 F_u$	$0.563 F_u$

^[a] Para tornillos de alta resistencia sujetos a carga de fatiga a tensión, véase el Apéndice 3 del manual AISC

^[b] Para conexiones cargadas en los extremos con una longitud del patrón del sujetador mayor de 38 in (965 mm), F_{nv} se reduce a 83.3 por ciento de los valores tabulados. La longitud del patrón del sujetador es la distancia máxima paralela a la línea de la fuerza entre el eje central de los tornillos que conectan dos partes con una superficie de contacto.

^[c] Para tornillos A307, los valores tabulados se reducen en 1 por ciento por cada $1/16$ in (2 mm) que exceda de 5 diámetros de la longitud en el agarre.

^[d] Roscas permitidas en los planos de corte.

De la tabla anterior se desprende las siguientes nomenclaturas, las cuales se utilizan en la literatura técnica, así como en los manuales del AISC, por ejemplo; el A325-SC es un tornillo A325 completamente tensionados, el A325-N es un tornillo A325 con roscas iNcluidas en los planos de corte y el A325-X es un tornillo A325 con rosca eXcluidas en los planos de corte.

3.1.6.- Elementos de conexión y miembros afectados

Se aplica a los elementos de los miembros en las conexiones y elementos de conexión, tales como placas, refuerzos, ángulos y soportes.

Resistencia de elementos en tensión

La resistencia de diseño de los elementos afectados y conexiones cargados en tensión, será el valor menor obtenido según el estado límite de fluencia por tensión y ruptura por tensión.

- Para la fluencia de los elementos de conexiones en tensión.

$$\phi R_n = F_y A_g \quad \text{Ec. 3.5}$$

Donde.

$$\phi = 0.9$$

- Para ruptura por tensión de los elementos de conexión.

$$\phi R_n = F_u A_e \quad \text{Ec. 3.6}$$

Donde.

$$\phi = 0.75$$

A_e = Área neta efectiva (ver sección D3 del manual AISC), in², para placas de empalmes atornillados, $A_e = A_n \leq 0.85A_g$

Nota: El área neta efectiva de la placa de conexión puede estar limitada debido a la distribución de tensiones calculada por métodos tales como la sección de Whitmore (Whitmore, 1952), en la cual las pruebas con placas de unión indicaron que los esfuerzos de flexión no se distribuyen linealmente y que el eje neutro de una sección transversal no coincide con su eje centroidal. Se observó que el máximo esfuerzo de flexión ocurre en un punto inferior, más que en una fibra extrema y los esfuerzos de cortante no se distribuyen de acuerdo con la ley de la parábola, que corresponde a una distribución lineal del esfuerzo de flexión. La sección de Whitmore, se determina en el borde de la junta al distribuir la fuerza desde el inicio de la conexión con un ángulo de 30° hacia cada lado del elemento de la conexión a lo largo de la línea de fuerza.

Resistencia de elementos sujetos a cortante

La resistencia al corte disponible de los elementos afectados y de conexión será el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de fluencia por cortante y ruptura por cortante.

- Para la fluencia por cortante del elemento.

$$\phi R_n = 0.60F_y A_{gv} \quad \text{Ec. 3.7}$$

Donde:

$$\phi = 1.0$$

A_{gv} = Área gruesa sujeta a cortante, in²

- Para ruptura por cortante del elemento.

$$\phi R_n = 0.60 F_u A_{nv} \quad \text{Ec. 3.8}$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

A_{nv} = Área neta sujeta a cortante, in²

Resistencia a bloque de cortante

La resistencia disponible para el estado limite por bloque de cortante a lo largo de la trayectoria o las trayectorias de falla por cortante y de la trayectoria perpendicular de falla por tensión, se tomará como.

$$\phi R_n = 0.6 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

A_{nt} = Área neta sujeta a tensión, in²

Nota: se emplea $U_{bs} = 1$, por ejemplo, en miembros soldados o atornillados con una o dos filas de tornillos o soldadura que generan esfuerzos de tensión uniforme; se usa, $U_{bs} = 0.5$, en donde la conexión es con múltiples filas de tornillos o soldadura que generan esfuerzos de tensión no uniformes.

Resistencia de elementos en compresión

La resistencia disponible de los elementos de conexión en compresión para los estados límites de fluencia y pandeo se determina de la siguiente manera.

- Cuando $KL/r \leq 25$

$$\phi P_n = F_y A_g \quad \text{Ec. 3.10}$$

Donde:

$$\phi = 0.9$$

- Cuando $KL/r > 25$, se aplican las disposiciones del capítulo E del manual AISC

3.2.- Soldaduras

La soldadura consiste en un proceso, en el cual se unen dos o más partes metálicas a través de la fusión, esta se realiza mediante el calentamiento de las superficies del metal hasta un estado plástico o fluido, se puede realizar el proceso con o sin la adición de otro metal fundido. No existen registros en donde se pueda conocer exactamente el año en que se empezó a utilizar este método, pero se considera que las primeras soldaduras que tal vez se emplearon era el *forjado* como se describió en la sección 1.2.1. En la actualidad los requerimientos para la mano de obra de las especificaciones de la AWS hacen de la inspección y control de la soldadura un proceso mucho más fácil y rápido, los aceros estructurales que se producen actualmente están químicamente mejorados para permitir y mejorar su soldabilidad.

La utilización de la soldadura permite reducir hasta un 15% el peso y costo de la estructura de acero en comparación del uso de los tornillos o remaches con sus elementos de conexión, permitiendo también una mejor estética de las conexiones por su facilidad de conectar diferentes espesores de placas, ángulos, almas y patines de vigas o columnas, etc., las soldaduras permiten unir diferentes grados de acero. La soldadura se ha utilizado con éxito durante muchos años en barcos, aviones, puentes carreteros y ferroviarios, edificios, etc., si comparamos las cargas de impacto de la naturaleza en los aviones y barcos que son muy severas y difíciles de predecir con las construcciones civiles, esto da como resultado de que la seguridad al utilizar la soldadura está garantizada siempre y cuando se lleve el control cuando se realice este proceso.

Ventajas de la soldadura

- Se reducen costos y el tiempo de fabricación, en comparación con el atornillado o remachado puesto que se elimina el punzonamiento, rebordeado y perforados en miembros y elementos de la conexión.
- Las estructuras soldadas son más rígidas, porque los miembros por lo general se unen directamente uno a otro, la rigidez puede llegar a ser una desventaja donde hay conexiones de extremo simple con bajas resistencias a los momentos, en dado caso el calculista deberá especificar el tipo de junta a emplear.
- Es el único procedimiento de unión hermético e impermeable, esto es ideal y adecuado para la fabricación de recipientes a presión como tanques de agua, gas, ductos de petróleo, etc.
- Se puede realizar el montaje en relativo silencio, este proceso es muy aceptable cuando se construye en colindancias con hospitales, escuelas o cuando se realizan ampliaciones en edificios existente y ocupados.

- Si por alguna razón se deberán de realizar cambios en el diseño o corregir errores presentados, resulta más fácil y a menor costo si se usa soldadura.
- Cuando se realizan estructuras curvas o con pendientes, en columnas de sección tubular y una viga, el atornillado es más difícil de realizar, si se emplea soldadura será más rápida y requerirá menos material de unión a comparación de los tornillos y remaches.

3.2.1.- Procesos de soldaduras

Podemos encontrar soldadura con gas y con arco, la soldadura de arco es la que generalmente se utiliza en todas las estructuras. Describiremos a continuación ambos métodos.

- En la **soldadura con gas** se utiliza una boquilla de un maneral o soplete, en esta se quema una mezcla de oxígeno con algún otro tipo adecuado de gas como el acetileno, el cual puede ser manipulado por una persona o máquina automática, este proceso se le conoce con el nombre de *soldadura oxiacetilénica*. La flama que se produce puede utilizarse para corte de metales como para soldar. Este tipo de soldadura es fácil de aplicar y el equipo para realizarlo es económico. El proceso de soldadura con gas puede ser lento en comparación con otros y generalmente se utiliza para trabajos de reparación y mantenimiento, muy pocas veces se utiliza para la fabricación y montaje de estructuras de acero.
- En la **soldadura con arco** se forma un arco eléctrico entre los elementos o miembros de acero y el electrodo que puede ser manipulado por una persona o una máquina automática. El arco eléctrico se forma de una chispa continua entre el electrodo y las piezas a soldar lo que provocará la fusión de los materiales. El gas o aire formado entre el electrodo y las piezas de acero convierte la energía eléctrica en calor. La temperatura oscila entre 3 200 y 5 500 °C mientras que el electrodo se funde, se forman pequeñas gotas o globulitos de metal fundido que son forzados por el arco hacia las piezas por unir, penetrando en el metal fundido para formar la soldadura.

Soldaduras precalificadas

Son aceptados cuatro procesos de soldadura por la AWS como precalificadas, las cuales implica que son aceptados los procesos sin la necesidad de pruebas sobre su calidad siempre que sigan los códigos de soldadura estructural de la AWS. Los procesos de soldadura son los siguientes.

SMAW, Soldadura por arco metálico protegido (Shielded Metal Arc Welding).

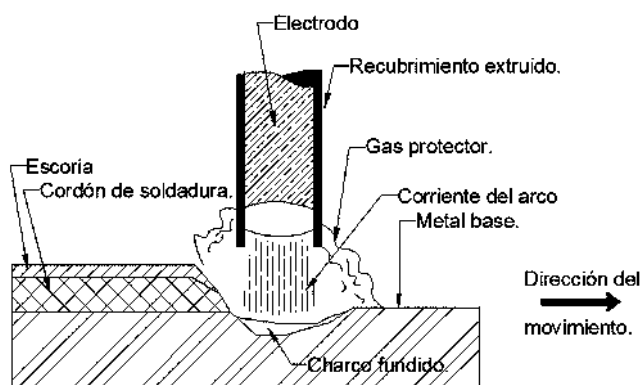
SAW, Soldadura por arco sumergido (Submerged Arc Welding).

GMAW, Soldadura de arco metálico con gas (Gas Metal Arc Welding).

FCAW, Soldadura de arco con núcleo fundente (Flux Cored Arc Welding)

El proceso SMAW es frecuentemente utilizado para la aplicación manual, mientras que los otros tres se utilizan generalmente en procesos automáticos o semiautomáticos, sus componentes los podemos observar en la Figura 3.6

Los tipos de electrodos que se usan para soldar afectan las propiedades de la soldadura tales como la resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión, por ello es muy importante elegir el electrodo adecuado a utilizar. Podemos encontrar una gran variedad de electrodos y la elección depende del material que se suelda, la cantidad de material que se necesita depositar, la posición del trabajo, etc. Se dividen en electrodos con *recubrimiento ligero* y *electrodos con recubrimiento pesado*. Los electrodos con recubrimiento pesado se utilizan frecuentemente en la soldadura estructural, porque al fundirse el recubrimiento produce una protección de vapor o atmosfera, así como escoria en la soldadura. La soldadura resulta más resistente a la corrosión, fuerte y más dúctil en comparación con electrodos de recubrimiento ligero.



a) Elementos de soldadura



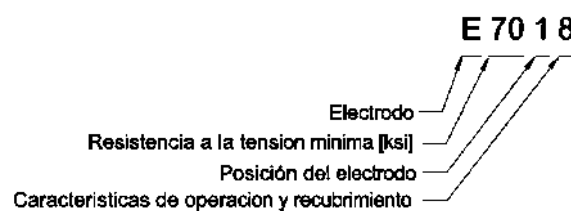
b) Soldador efectuando el proceso SMAW

Figura 3. 6 Proceso de soldadura SMAW.

Identificación de electrodos del proceso SMAW

En las especificaciones de las versiones AWS A5.1 y AWS A5.5 se utilizan un sistema de identificación de los electrodos que se utilizan en el proceso de soldadura SMAW.

En las tablas del Manual AISC podemos encontrar varias resistencias de soldadura, la más utilizada es la que tiene como resistencia a la tensión mínima de 70 ksi y también esta es la que se utiliza para la realización de las tablas de manual. En las especificaciones AWS A5.1 (Electrodos con acero al carbón) la manera de identificación consiste en una letra “E” de Electrodo, seguido por el número “70” que indica que la resistencia mínima a la tensión es de 70 ksi, el siguiente número “1” indica que el electrodo puede ser utilizada en todas las posiciones y al final el número “8”, este indica que el electrodo es de revestimiento de bajo contenido de hidrogeno y que opera con una corriente directa (DC) con el electrodo conectado al circuito en la parte positiva, como se indica a continuación



3.2.2.- Clasificación de las soldaduras

Existen tres clasificaciones de las soldaduras, cada una independientemente de las otras. Se basan en el tipo de soldadura a realizar, la posición empleada y el tipo de junta que se realice, como se menciona a continuación.

Los tipos de soldadura que comúnmente se realizan son la *soldadura de filete* y *de ranura*, existen también la *soldadura de tapón* y *de muesca* (ver Figura 3.7) las cuales no se realizan con frecuencia en las estructuras de acero. La *soldadura de filete* es en donde las partes se traslapan una sobre otra, su uso es común en juntas *te*. Este tipo de soldadura se utiliza por su economía y facilidad en la preparación de las partes que se van a unir. Las pruebas de laboratorios han demostrado que las soldaduras de filete son más débiles que las de ranura, pero la mayoría de las conexiones actuales se realizan con soldadura de filete, aproximadamente el 80%.

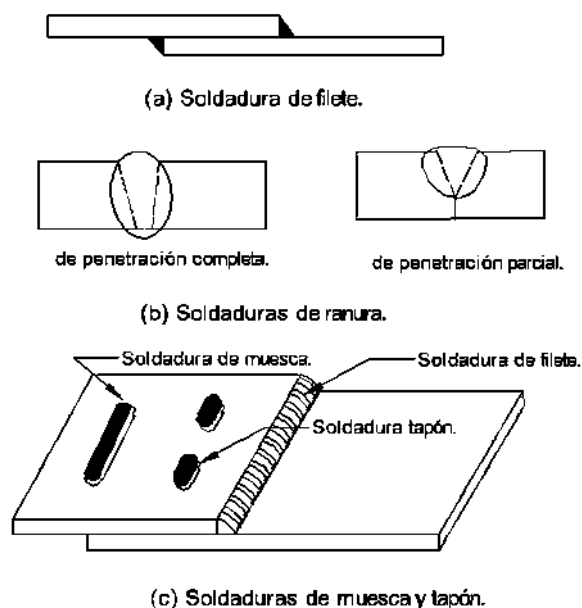


Figura 3. 7 Tipos de soldadura (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).

Por la *posición* en que se realizan pueden ser planas, horizontales, verticales y en la parte superior (o sobre cabeza) ver Figura 3.8, la posición plana es la más económicas mientras que la superior la más costosa. La soldadura plana se puede realizar con una máquina automática en los talleres, pero su utilización en el campo es de manera manual por las condiciones que se presentan es muy difícil emplear maquinas soldadoras. La acción de la gravedad en las soldaduras en ningún momento es un problema, pero si puede acelerar el proceso, cuando se utiliza la posición sobre cabeza puede resultar muy lento y costoso realizar este proceso, por lo que no se recomienda esta posición y se deberá evitar en lo posible emplearla.

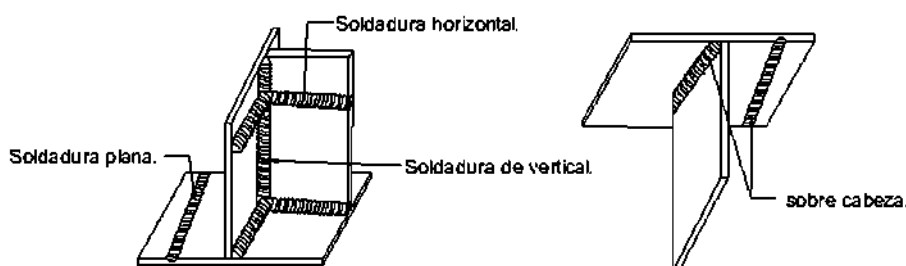


Figura 3. 8 Posición de soldaduras (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).

Las soldaduras se pueden también clasificar por *el tipo de junta* usada, como puede ser a tope, traslapada, en te, de canto, o de esquina (ver Figura 3.9). Las juntas a tope se emplean en empalmes de columnas, en los patines de las vigas con placas, etc. Las juntas *te* tienen

aplicaciones en conexiones placa a viga, columnas a placas bases, vigas a columnas. Las de juntas de esquina son más usadas en secciones armadas. Las juntas traslapadas las podemos encontrar en cubre placas, unión de un ángulo al alma de una viga, etc.

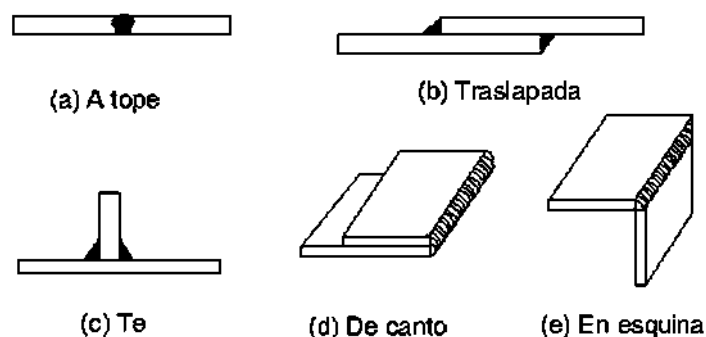
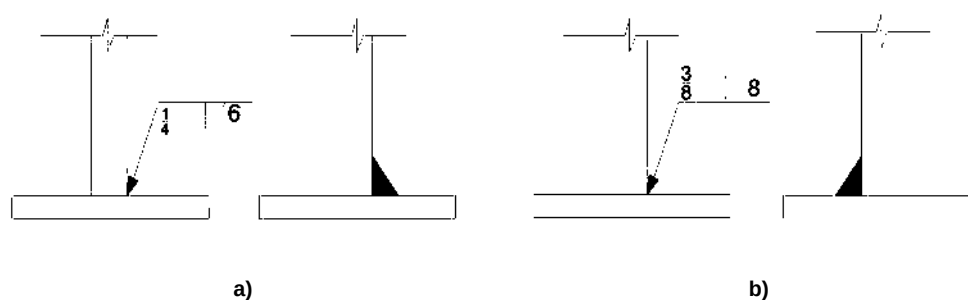


Figura 3. 9 Juntas de soldadura (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).

3.2.3.- Simbología de la soldadura

Existen símbolos muy utilizados por los diseñadores, fabricantes y soldadores los cuales aseguran que la información se transmita de una manera correcta para la ejecución de la soldadura, la AWS ha estandarizado un sistema de símbolos utilizados para soldaduras, los símbolos describen gráficamente los diferentes tipos de soldadura, también se pueden realizar combinaciones de estos símbolos para representar cualquier situación dada. A continuación, en la Figura 3.10 se dan algunos ejemplos de los símbolos y su significado de la soldadura de filete.



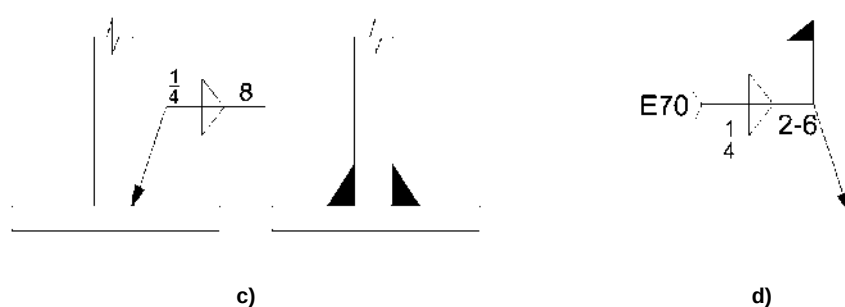


Figura 3. 10 Ejemplos de símbolos de filete (Sriramulu, V. 2006).

En la Figura 3.10a se representa la soldadura de filete sobre el lado cercano (lado de la flecha). El tamaño de soldadura $\frac{1}{4}$ in se pone a la izquierda y la longitud 6 in a la derecha del símbolo de soldadura. La Figura 3.10b representa una soldadura de filete de $\frac{3}{8}$ in de tamaño y 8 in de longitud, en el lado lejano. Como se observa en Figura 3.10c se muestra la soldadura de filete de $\frac{1}{4}$ in de tamaño y 8 in de longitud, en ambos lados. Si las soldaduras son iguales en ambos lados, no es necesario, pero se permiten indicar sus dimensiones en ambos lados de la línea. Por último en la Figura 3.10d se representa una soldadura intermitente de campo (indica la bandera), de $\frac{1}{4}$ in de tamaño, de 2 in de longitud, a 6 in entre centros, a ambos lados sin alternar, con electros de resistencia de 70 ksi (E70).

3.2.4.- Soldadura de filete

Las soldaduras de filete son más resistentes a la tensión y compresión que al corte, siempre que sea posible se deberán de arreglar las conexiones de manera que estén sujetas únicamente a los esfuerzos de corte y evitar las combinaciones de corte y tensión, o corte y compresión en la medida que sea posible. El ángulo de la soldadura generalmente se encuentra de 45° , para esto las dimensiones de los lados deberán ser iguales y a dichas soldaduras se conocen por las dimensiones de sus lados, si las dimensiones de los lados en la soldadura son diferentes (ángulo diferente a 45°) se darán las dimensiones de ambos lados para describir la soldadura. Por ejemplo, una soldadura de filete de lados iguales de $\frac{5}{16}$ in y una soldadura de filete de $\frac{5}{16}$ por $\frac{1}{2}$ in.

Resistencia de la soldadura de filete

La resistencia de la soldadura de filete es igual a la carga dividida entre el área efectiva de la garganta de la soldadura, en pruebas realizadas se han demostrado que las soldaduras cargadas

transversalmente son más fuertes que las soldaduras cargadas paralelas al eje de la soldadura. Las soldaduras transversales quedan sometidas a esfuerzos más uniformes sobre su longitud y la falla ocurre en ángulos diferentes a 45°, por lo que las soldaduras tienen entonces áreas efectivas más grandes en la garganta. Mientras que las soldaduras longitudinales quedan sometidas a esfuerzos no uniformes debido a las deformaciones que varían a lo largo de su longitud.

Se recomienda que las propiedades de los electrodos y del acero que se deseen unir tengan las propiedades similares, cuando se cumple esto, se dice que el metal de aportación (electrodos) es compatible al metal base (miembros o elementos de conexión).

La resistencia de diseño de una soldadura (ϕR_n) se toma como el menor de los valores de la resistencia del material base, determinada con los estados límites de fractura a tensión, al corte y la resistencia del metal de aporte determinada con el estado límite de fractura, como se indica en las ecuaciones siguientes.

Para el *metal base*, la resistencia nominal se determina con.

$$\phi R_{nb} = F_{nBM} A_{BM} \quad \text{Ec. 3.11}$$

Para el *metal de aporte*, la resistencia nominal se determina con.

$$\phi R_{na} = F_{nw} A_{we} \quad \text{Ec. 3.12}$$

La resistencia nominal de la soldadura está dada por.

$$\phi R_n = \min[R_{nb}, R_{na}] \quad \text{Ec. 3.13}$$

Donde:

R_{nb} = Resistencia nominal de la soldadura, del estado límite de falla del metal base, kips.

R_{na} = Resistencia nominal de la soldadura, del estado límite de falla del metal de aporte, kips.

F_{nBM} = Esfuerzo nominal del metal base, ksi

A_{BM} = Área efectiva de la sección transversal del metal base, in²

F_{nw} = Esfuerzo nominal del metal de aporte, ksi

A_{we} = Área efectiva de la sección transversal del metal de aporte, in²

R_n = Resistencia nominal de la soldadura, kips

$\phi = 0.75$

Tamaños mínimos y máximos de la soldadura de filete

La *longitud mínima* de una soldadura no debe de ser menor que 4 veces la dimensión nominal del lado de la soldadura, si la longitud es menor a este valor, el tamaño de la soldadura que se considera efectiva deberá reducirse a $\frac{1}{4}$ de la longitud de la soldadura.

La soldadura de filete *practica más pequeña* tiene un tamaño de $\frac{1}{8}$ in y las más *económica* es la de $\frac{1}{4}$ o $\frac{5}{16}$ in este también es el tamaño más grande que se puede realizar con el proceso de arco protegido (SMAW) en una pasada, en ocasiones se necesita de que el tamaño de la soldadura sea más grande y para ello se deberán de realizar varias pasadas de soldadura, cada una de estas deberá de enfriarse y retirar la escoria que se genere, a continuación se repetirá el proceso hasta efectuar las pasadas necesarias.

La especificación del AISC da *tamaños mínimos* (w_{min}) de soldadura permisibles de acuerdo al tamaño del material más delgado a unir, como se muestra en la Tabla 3.4, si la resistencia calculada requiere de un tamaño mayor de soldadura esta se aceptara, pero no deberá de ser menor que el tamaño requerido para transmitir la carga calculada, ni el tamaño mínimo de la Tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Tamaños mínimos para soldadura de filete (Jack, C. & Stephen, F. 2012).

Espesor del material de la parte unida más delgada, in (mm)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete, ^[a] in (mm)
Hasta 1/4 (6)	1/8 (3)
Entre 1/4 (6) a 1/2 (13)	3/16 (5)
Entre 1/2 (13) a 3/4 (19)	1/4 (6)
Mayor a 3/4 (19)	5/16 (8)

^[a] Dimensión del ala de las soldaduras de filete. La soldadura debe ser de una sola pasada

El *tamaño máximo* (w_{max}) de una soldadura de filete no está definida, aunque es recomendable que cumpla con ciertos requisitos, especialmente para que el inspector de soldaduras pueda identificar el tamaño visualmente y pueda colocar el calibrador de soldadura al igual determinar con exactitud las dimensiones de la garganta de la misma, se recomienda que en una placa de espesor de $\frac{1}{4}$ in o mayor, se termine la soldadura por lo menos a $\frac{1}{16}$ in del borde.

Para las partes a unir se recomienda que el tamaño máximo de soldadura sea de:

- A lo largo de los bordes de material menor de $\frac{1}{4}$ in de grueso debe ser igual al grueso del material.

$$w_{max} = t \quad \text{Donde} \quad t < \frac{1}{4} \text{ in} \quad \text{Ec. 3.14}$$

- Para materiales más gruesos a $1/4$ in no deberá ser mayor que el espesor del material menos $1/16$ in a menos que la soldadura se arregle para dar un espesor completo de la garganta.

$$w_{max} = t - 1/16 \quad \text{Donde} \quad t \geq 1/4 \text{ in} \quad \text{Ec. 3.15}$$

De las ecuaciones anteriores:

w_{min} = Tamaño mínimo de la soldadura de filete, in

w_{max} = Tamaño máximo de la soldadura de filete, in

t = Espesor del material más delgado, in

Las uniones soldadas mejoran con forme el espesor del parte a soldar disminuyen, cuando se tienen materiales gruesos estos absorben el calor de las soldaduras más rápido que los materiales delgados, aun si se realizan los mismos tamaños de soldadura, para ello se recomienda calentar el material grueso antes de empezar a soldar y mantenerlo así mientras se ejecuta la soldadura.

Para determinar la resistencia de las *soldaduras de filete cargadas transversalmente* (ver Figura 3.11a) en un plano que pase por sus centros de gravedad, se puede determinar con la siguiente ecuación.

$$\phi F_{nw} = (0.6 F_{EXX})(1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta) \quad \text{Ec. 3.16}$$

Donde:

F_{nw} = Resistencia nominal de la soldadura, kips.

F_{EXX} = Resistencia a la tensión mínima del electrodo, ksi.

θ = Es el ángulo entre las líneas de acción de la carga y el eje longitudinal de la soldadura.

$\phi = 0.75$

La resistencia de la soldadura crece conforme el ángulo θ aumenta, si la resistencia es perpendicular al eje longitudinal de la soldadura, la resistencia de la soldadura puede incrementar hasta un 50%.

Para el cálculo de *la resistencia a la ruptura de los elementos soldados*, cuando solo se tiene una conexión a un lado del miembro, se determinará de acuerdo a:

$$t_{min} = \frac{0.6 F_{EXX} \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) \left(\frac{D}{16} \right)}{0.6 F_u} = \frac{3.09 D}{F_u} \quad \text{Ec. 3.17}$$

$$R_u = 1.392Dl\left(\frac{t}{t_{min}}\right) \quad \text{Ec. 3.18}$$

Donde:

t_{min} = Es el espesor mínimo de la placa, alma o patín según sea el caso, in

D =Tamaño de la soldadura en dieciseisavos de pulgada.

l = Longitud de la soldadura, in

R_u = Resistencia a la ruptura del elemento, kips

t = Espesor de la placa (t_p), alma (t_w) o patín (t_f), según sea el caso, in

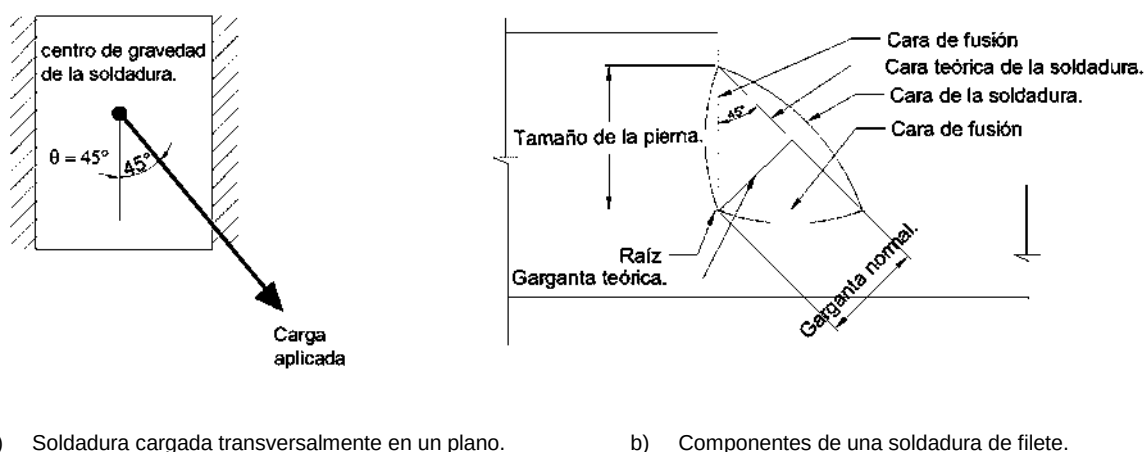


Figura 3. 11 Soldadura cargada transversalmente y componentes de una soldadura (Modificado de Jack, C. & Stephen, F. 2012).

3.3.- Conexiones sujetas a cortante excéntrico

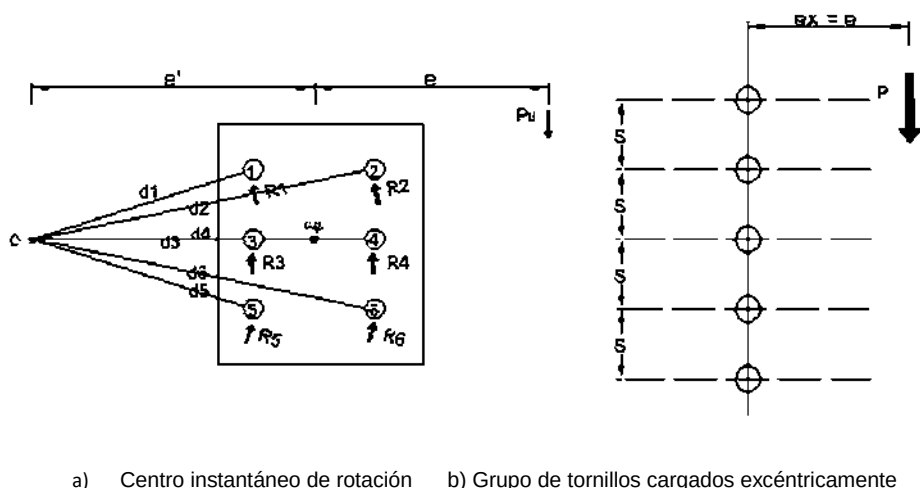
3.3.1.-Conexiones atornilladas cargadas excéntricamente

Cuando los tornillos en una conexión se encuentran cargados excéntricamente, están sujetos a corte y a momento de flexión, se han desarrollado tres métodos para el análisis de conexiones atornilladas cargadas excéntricamente. El *método elástico* es el más conservador en donde la fricción o la resistencia al deslizamiento entre las partes conectadas se ignoran, también se supone que las partes conectadas son completamente rígidas. Los *métodos reducidos* o de *excentricidad efectiva* emplean menores excentricidades y momentos en los cálculos, el análisis

se realiza igual que con el método elástico. El *método del centro instantáneo de rotación*, proporciona valores más cercanos a los obtenidos en pruebas realizadas, el análisis es bastante largo y para agilizar su aplicación se han tabulado valores en el manual AISC en las Tablas 7-6 a 7-13 las cuales se pueden usar siempre que el arreglo de los tornillos sea simétrico.

Método del centro instantáneo de rotación

Cuando uno de los tornillos extremos en la conexión atornillada cargada excéntricamente comience a deslizarse o a fluir, la conexión no fallará, si la carga se incrementa, los tornillos interiores irán soportando más carga, pero la falla seguirá sin ocurrir, hasta que todos los tornillos fluyan o se deslicen por la carga aplicada excéntricamente. La carga excéntrica causará una rotación relativa y una traslación de los tornillos, esto será una rotación pura de la conexión con respecto a un solo punto que se denominará *centro instantáneo de rotación*.



a) Centro instantáneo de rotación b) Grupo de tornillos cargados excéntricamente

Figura 3. 12 Tornillos cargados excéntricamente (Jack, C. & Stephen, F. 2012).

En la conexión atornillada de la Figura 3.12a, el punto O representa el centro instantáneo de rotación, el cual se encuentra localizado a una distancia e' del centro de gravedad del grupo de tornillos. Las deformaciones de los tornillos varían en proporción a la distancia d_i al centro instantáneo de rotación. Las fuerzas resistentes para cada tornillo (R_1 , R_2 , R_3 ...etc.) de la conexión se supondrá que cada una actúa en una dirección perpendicular a una línea trazada del punto O al centro del tornillo en consideración. Para la conexión mostrada, el centro instantáneo de rotación queda sobre una línea horizontal que pasa por el centro de gravedad del grupo de tornillos, en donde la suma de las componentes horizontales de las fuerzas (R_1 , R_2 , R_3 ...etc.) deberá de ser igual a cero, al igual la suma de los momentos de las componentes horizontales

respecto al punto O, para encontrar la posición del punto O se deberán de realizar varios tanteos hasta que el sistema quede en equilibrio.

La fuerza cortante ultima que un tornillo podrá resistir será dada por la relación carga-deformación en el tornillo de análisis y no como se esperará con la fuerza cortante pura.

En el manual del AISC, parte 7 *consideraciones de diseño para tornillos*, se presentan tablas (Tablas 7-6 a 7-13) denominadas Coefficients *C* for Eccentrically Loaded Bolt Groups (Coeficientes *C* para grupos de tornillos cargados excéntricamente), en donde los valores tabulados se determinaron utilizando el método del centro instantáneo de rotación. En las cuales para su utilización se deberá conocer (ver Figura 3.12b) el ángulo (θ) de aplicación de la carga con respecto a la vertical, la excentricidad (e_x), el pasó (*S*), número de tornillos en una línea vertical (*n*), la carga requerida (*P*), la resistencia nominal para un tornillo (r_n), el coeficiente (*C*) se tomará de los datos tabulados o de una interpolación si se requiere.

La resistencia disponible para un grupo de tornillos se determinará con la siguiente ecuación.

$$R_n = C r_n \quad \text{Ec. 3.19}$$

Donde:

R_n = Resistencia disponible del grupo de tornillos, kips.

C = Valor obtenido de las tablas 7-6 a 7-13 del manual AISC

r_n = Resistencia nominal para un tornillo, kips

Para la solución de los ejemplos del capítulo 4 utilizaremos este método, ya que tomaremos los valores tabulados del capítulo 7 del manual AISC de acuerdo a cada caso. Se recomienda cuando las tablas tabuladas no abarquen alguna situación presentada, se utilice el método elástico que como se mencionó es el más conservador.

3.3.2.-Conexiones soldadas cargadas excéntricamente

Las conexiones realizadas con soldadura de filete, se someten constantemente a cargas excéntricas, quedando sujetas a corte y torsión, o bien, a corte y flexión. Para el análisis se puede utilizar el *método elástico* que como se menciona es muy conservador, o el *método de la resistencia última* siendo el más realista en los resultados y en las pruebas experimentales.

En el *método elástico* la fricción o resistencia al deslizamiento entre las partes a unir se desprecian, estas se suponen totalmente rígidas y también se supone que las soldaduras son perfectamente elásticas.

Método de la resistencia ultima

Como se describió en las conexiones atornilladas cargadas excéntricamente las cargas tienden a ocasionar una rotación y traslación relativa entre las partes unidas, de igual manera ocurre con las soldaduras. Si la carga excéntrica es de una magnitud que pueda ocasionar la fluencia en las partes más esforzadas de la soldadura, la conexión no fluirá, cuando la carga se incremente las fibras menos esforzadas empezaran a resistir más cargas, pero la falla no ocurrirá, sino hasta que todas las fibras de la soldadura alcancen el estado de fluencia.

Las pruebas realizadas en las soldaduras cargadas excéntricamente para determinar las fuerzas cortantes máximas que pueden resistir han demostrado que dependen de la relación carga-deformación de los elementos de la soldadura, estas se representan por medio de curvas o fórmulas. La ductilidad de las soldaduras se rige por las deformaciones máximas del elemento que primero alcanzan su límite (el elemento situado a la máxima distancia del centro instantáneo de la soldadura alcanza probablemente primero su límite) ver Figura 3.13a. La posición del centro instantáneo de rotación se determina por medio de tanteos y las resistencias y deformación de las soldaduras son dependientes del ángulo (θ) que la fuerza en cada elemento forma con el eje del elemento en cuestión. Las deformaciones son proporcionales a su distancia desde el centro instantáneo de rotación.

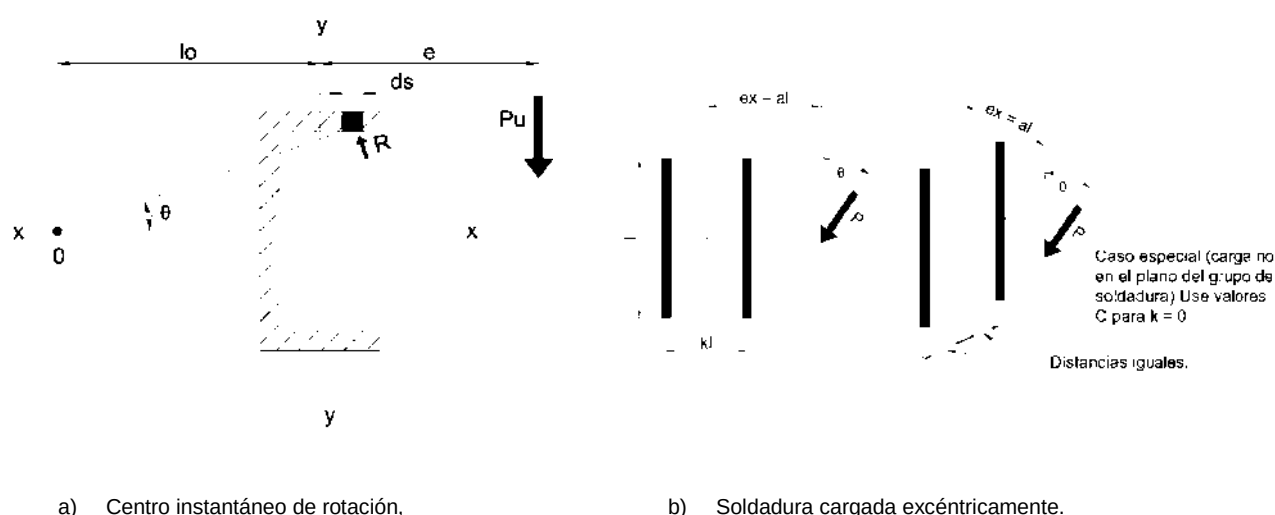


Figura 3. 13 Soldadura cargada excéntricamente (AISC, 2010).

En la Figura 3.13a, para poder utilizar el método de la resistencia última se deberá de tener en cuenta lo siguiente. La posición del centro instantáneo de rotación (O) dependerá de la carga excéntrica, de la geometría de la soldadura y de las deformaciones de los diferentes elementos de la soldadura. La carga excéntrica (P_u) estará localizada a una distancia denominada excentricidad (e) del centro de gravedad de la soldadura. La fuerza resistente (R) se aplicará perpendicular a una línea trazada del centro instantáneo (O) a la fibra de soldadura en cuestión. La longitud (ds) de la soldadura se puede tomar unitaria para simplificación de los cálculos y las unidades. Las sumatorias de fuerzas y momentos deberán de dar cero para que el sistema se encuentre en equilibrio, si no es así se tendrá que realizar otra iteración, cambiando la posición del centro instantáneo de rotación (O). Como es un proceso iterativo y tedioso se pueden realizar con la ayuda de computadoras de una manera más rápida y confiable en los cálculos.

En la parte 8 del manual AISC (*consideraciones para diseño de soldaduras*), se presentan tablas (Tablas 8-4 a 8-11a) denominadas Coefficients, C , for Eccentrically Loaded Weld Groups (Coeficientes, C , para grupos de soldadura excéntricamente cargadas) estas tablas se realizaron con el método de la resistencia última, para la utilización de estas tablas se debe de conocer previamente los siguientes datos (ver Figura 3.13b):

P = Fuerza requerida, kips.

$$a = e_x / l \quad \text{Ec. 3.20}$$

e_x = Componente horizontal de la excentricidad de P con respecto al centroide del grupo de soldadura, in

θ = Ángulo de aplicación de la carga con respecto a la horizontal (tabulados de 0 a 75° en las Tablas 8-4 a 8-11a del manual AISC), las interpolaciones para ángulos entre los tabulados pueden dar resultados no muy conservadores, para lo cual se recomienda emplear el valor dado para el ángulo inferior próximo tabulado.

$$k = \frac{kl}{l} = \frac{t_p}{l} \quad \text{Ec. 3.21}$$

kl es la distancia centro a centro de soldaduras paralelas, (ver Figura 3.13b) o el espesor de la placa a considerar y l es la longitud de la soldadura de filete empleada.

La resistencia disponible de un grupo de soldadura se determina con la ecuación:

$$R_n = CC_1 D l \quad \text{Ec. 3.22}$$

Donde:

R_n = Resistencia nominal, kips.

D = Numero en dieciseisavos de pulgada del tamaño de soldadura de filete.

l = longitud del grupo de soldadura, in

C = Coeficiente tabulado (Tablas 8-4 a 8-11a en el manual AISC).

C_1 = Coeficiente de resistencia del electrodo de la Tabla 3.5.

$\phi = 0.75$

Cuando el tipo de arreglo de una conexión no se encuentre en las tablas anteriores mencionadas, se recomienda utilizar el método elástico por ser el más conservador.

Tabla 3. 5 Coeficientes de los electrodos, C_1 (Jack, C. & Stephen, F. 2012).

Electrodo	F_{EXX} (ksi)	C_1
E60	60	0.857
E70	70	1.00
E80	80	1.03
E90	90	1.16
E100	100	1.21
E110	110	1.34

3.4.- Conexiones en estructuras

En las estructuras de acero las conexiones deben de transmitir fuerzas en los extremos de los miembros, las cuales pueden ser fuerzas axiales, momento flexionante, fuerzas cortantes y momentos de torsión, estas pueden ser aplicadas de maneras individuales o combinadas. El comportamiento de una conexión puede ser tan complejo que resultaría prácticamente imposible analizar la mayor parte de las conexiones con un procedimiento matemático riguroso y exacto, debido a que una conexión suele tener componentes pequeños, como elementos de placa, donde cada uno puede ejercer una influencia significativa en el patrón de deformación general al igual que los tornillos y soldaduras de la conexión, las discontinuidades como agujeros de tornillos y extremos de soldadura generan concentraciones de esfuerzos, dando como resultado de lo anterior un comportamiento no lineal, aunque los miembros conectados se encuentren en un estado elástico de esfuerzos.

Los procedimientos de diseño usan formulas simples, que suelen basarse en teorías como flexión simple de vigas y modelos de placas delgadas que se modifican de forma apropiada para

concordar con los resultados de pruebas realizadas. El comportamiento dúctil (plástico) del acero estructural es muy importante en las conexiones debido a que la fluencia plástica aliviana las concentraciones de esfuerzos y evita la falla prematura, los elementos de conexiones suelen ser de acero A36 (y en ocasiones los miembros son de acero de mayor o igual resistencia) siempre y cuando puedan transferir las cargas que se requieran.

Se recomienda que las conexiones en una edificación sean en la medida posible las mismas, debido a que son los elementos de más alto costo unitario en una estructura de acero. Por ello deberá de reducirse al mínimo las operaciones que se realicen en taller como el corte, perforaciones y recortes en las piezas de la conexión y asegurar la mayor cantidad posible de piezas similares y de condiciones de ensamblado en el trabajo total para asegurar una optimización de los recursos tanto de material, económico, mano de obra y tiempo para la ejecución del trabajo.

3.4.1.- Tipos de conexiones en acero

Las conexiones tienen restricciones, o sea, alguna resistencia a cambios en los ángulos originales formados por los miembros conectados cuando se aplican las cargas. Dependiendo de la magnitud de la restricción las conexiones se clasifican como *totalmente restringida (tipo FR)* y como *parcialmente restringido (tipo PR)*.

- Las *conexiones totalmente restringidas (tipo FR)* comúnmente se designan como conexiones rígidas o continuas propias de marcos, la suposición es que son suficientemente rígidas o que tienen un grado de restricción tal, que los ángulos originales entre los miembros permanecen sin cambios bajo cargas aplicadas, las conexiones a momento entran en esta clasificación.
- Las *conexiones parcialmente restringidas (tipo PR)* tienen una rigidez insuficiente para mantener sin cambios a los ángulos originales bajo cargas aplicadas, en esta clasificación se incluyen las conexiones simples y semirrígidas.

Las conexiones totalmente restringidas o parcialmente restringida son condiciones ideales a las que solo es posible acercarse, pero nunca se logran en condiciones reales. En la Figura 3.14 se indican algunas proporciones razonables de restricciones que se podría esperar de cada uno de los tipos de conexiones indicados, las del inciso 1 se considera rígida, la 2 de cortante simple y la 3 semirrígida. Es casi imposible definir límites precisos y prácticos entre los tipos de conexiones, pero la respuesta de cualquier conexión deberá de ser lo suficientemente clara como para permitir

la asignación de un nuevo nivel de comportamiento significativo y útil. Para esto observamos que la conexión directamente soldado con placas de patín y alma (1) es muy rígida, la conexión de una placa simple (2) es muy flexible, mientras que la conexión con ángulos superior e inferior (3) es semirrígida. En la misma Figura 3.14 se observan curvas típicas momento-rotación de las conexiones, cuando los momentos aumentan, las rotaciones se incrementan con una mayor rapidez.

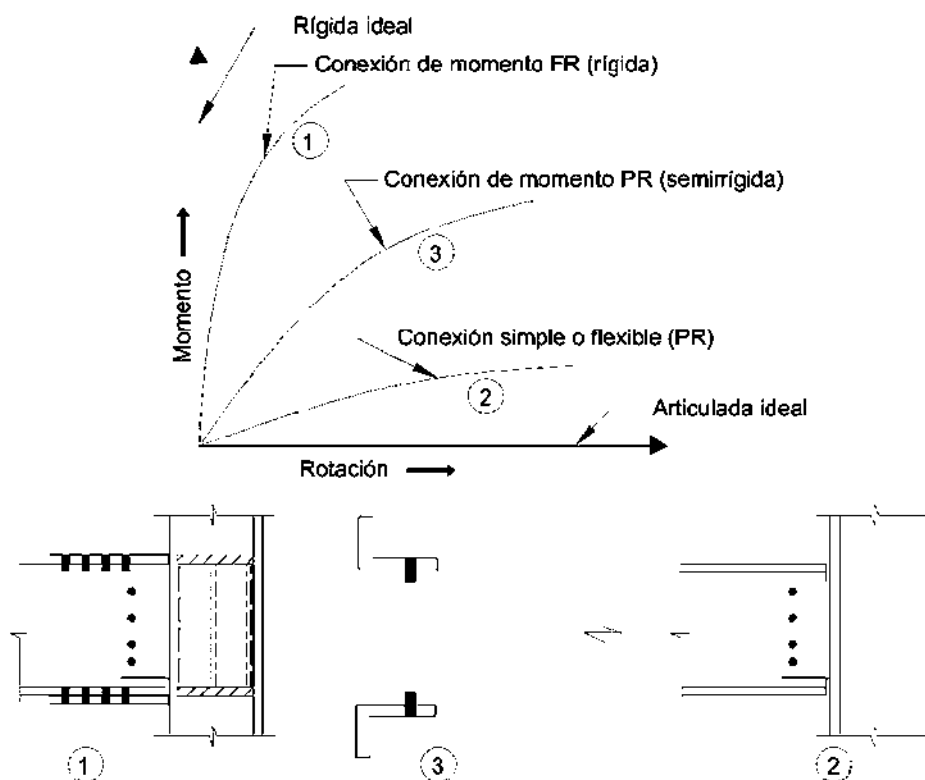


Figura 3. 14 Curvas de conexiones momento-rotación (Modificado de Sriramulu, V. 2006).

3.4.2.-Conexiones parcialmente restringidas (Tipo PR)

Las conexiones simples (Tipo PR) son muy flexibles y se supone que permiten a los extremos de las vigas girar hacia abajo cuando están cargadas, como en las vigas simplemente apoyadas, aunque también las conexiones simples tienen resistencia a la rotación del extremo, para este tipo de conexión se supondrá que es despreciable y se consideraran que solo son capaces de resistir solamente fuerza cortante.

Las conexiones semirrígidas o conexiones de momento flexible (Tipo PR) son aquellas que tienen una resistencia apreciable a la rotación del extremo. Es común que el proyectista para simplificar el análisis considere las conexiones como simples o rígidas sin considerar situaciones intermedias.

Las conexiones semirrígidas se usan con frecuencia, pero por lo general, el calculista no aprovecha sus posibilidades de reducción de momentos, las especificaciones del AISC solo permiten las consideraciones de conexiones semirrígidas, cuando se tengan las evidencias y que son capaces de resistir un cierto porcentaje del momento resistente que proporciona una conexión completamente rígida, las cuales deberán de ser fundamentadas en documentación de literaturas técnicas o debe establecerse por medios analíticos o empíricos.

Algunos ejemplos y clasificación de conexiones Tipo PR son:

Conexiones en dos direcciones:

- a) Conexión de doble ángulo
- b) Conexión de cortante, con placa de extremo.

Conexiones en una dirección:

- a) Conexión de té.
- b) Conexión de una placa
- c) Conexión de un ángulo.

Conexiones de asiento:

- a) Conexión de asiento sin atiesar.
- b) Conexión de asiento atiesada.

3.4.3.- Conexiones totalmente restringidas (Tipo FR)

Las conexiones tipo FR que unen las vigas a las columnas deberán de tener resistencia y rigidez adecuada para transferir los momentos flexionantes factorizados. La fuerza axial y la fuerza cortante en los extremos de la viga no deberán generar cambios aparentes del ángulo entre la viga y la columna. Si se tiene una viga de perfil W flexionado alrededor de su eje mayor, el alma prácticamente soportará todo el cortante, de esta manera se podrá transmitir de manera directa toda la fuerza cortante a la columna. El momento flexionante en una viga de perfil W si se encuentra flexionada en su eje mayor será resistido por los patines de la viga, de esta manera se presenta un par efectivo (de tensión y compresión) sobre los patines de la viga, esta fuerza se puede calcular como:

$$P_{uf} = \frac{M_u}{d_m} \quad \text{Ec. 3.23}$$

Donde:

P_{uf} = Fuerza factorizada en el patín de la viga, en tensión o compresión, kips

M_u = Momento de extremo de la viga sujeta a carga factorizada, kips-in

d_m = Brazo de momento entre las fuerzas de patín, in

Las conexiones Tipo FR pueden estar soldadas, atornilladas o una combinación de estas, las conexiones en los marcos pueden tener vigas unidas a ambos patines o solo a un patín. La placa que conecta el alma de la viga a la columna (generalmente al patín) se suelda en taller a la columna y en campo se atornilla a la viga. De esta manera la viga se monta y se mantiene en posición para que los patines de la viga se puedan soldar o atornillar a la columna en campo. Las placas que se unen al alma de la viga generalmente están diseñadas para que resistan todo el cortante, mientras las placas a los patines de las vigas se diseñan para soportar la tensión-compresión que se desarrolle por los momentos flexionantes.

Capítulo 4.- Ejemplos de diseño de conexiones

4.1.- Conexiones de cortante, con placa de extremo

Una placa de sección rectangular denominada placa de extremo se perfora y se suelda en taller en el extremo de la viga soportada, el plano de la placa se coloca perpendicular al eje longitudinal de la viga (ver Figura 4.1). La longitud de la placa (L) está limitada por la dimensión T de la viga ($T_v = d_v - 2k_v$) garantizando que la soldadura estará solo en el alma de la viga. Generalmente el ensamblado placa-viga se suelda en campo con el miembro de soporte, para lograr flexibilidad de la conexión se emplean gramiles grandes y placas delgadas. Las conexiones con placas de extremo en cortante son económicas si las reacciones de la viga se mantienen en rangos de 35 a 430 kips bajo cargas factorizadas.

Las conexiones de placa de extremo pueden pegarse a los patines de las columnas de soporte y a las almas de las trabes de soporte. Debido a las holguras para atornillado y soldadura, pueden no ser adecuadas para las conexiones a las almas de columnas W8 y resultando imposible para columnas W6. Para garantizar una flexibilidad y una capacidad a la rotación de extremo adecuada, la placa deberá de estar en el rango de espesor de $1/4$ a $3/8$ in inclusive. El espaciamiento transversal de los agujeros en la placa de extremo, con gramil (g) debe mantenerse entre $3\frac{1}{2}$ a $5\frac{1}{2}$ in y las distancias al borde de los lados superiores e inferiores y a los lados deberá ser de $1\frac{1}{4}$ in, procurando evitar valores menores en distancias al borde de este.

Si la placa de extremo es menor al tamaño T de la viga (T_v), deberá estar lo más próximo posible al patín de compresión de la viga, para proporcionar estabilidad lateral a ese patín. La soldadura deberá de ser de filete en cada lado, esta soldadura no deberá de rematarse en el alma de la viga, en la parte superior o inferior de la placa de extremo, pues estará en riesgo que se presente una ranura en el alma de la viga.

Los estados límites de resistencia siguientes deberán de ser mayores o igual a la carga solicitada en la conexión.

- Resistencia a cortante de los tornillos.
- Resistencia al aplastamiento de los tornillos en la placa de extremo y en el elemento de soporte.
- Fluencia por cortante de la placa de extremo.

- d) Ruptura por cortante de la placa de extremo.
- e) Resistencia de la soldadura.
- f) Resistencia por fluencia o ruptura de corte del metal base (alma de la viga soportada).
- g) Resistencia a la ruptura por bloque de corte de la placa de extremo.
- h) Si se tuvieran vigas con extremos recortados, es necesario investigar la resistencia a cortante y a flexión de la sección de la viga reducida en los recortes.

Para referirnos a las dimensiones de una viga o una columna, por ejemplo; el ancho del patín de la columna (bfc) la última letra es una “c” de columna, ahora si nos referimos al patín de una viga (bfv), cambiara a la letra “v” de viga y así sucesivamente para las demás dimensiones en los perfiles.

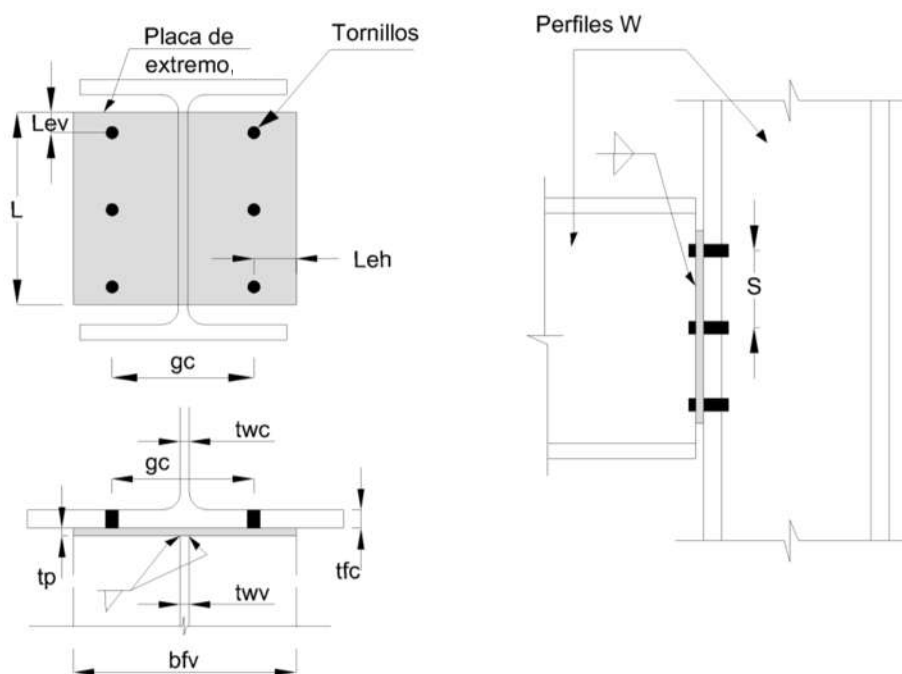


Figura 4. 1 Conexiones de cortante, con placa de extremo.

Para este tipo de conexión, no se toma en cuenta la excentricidad en el diseño de los tornillos y la soldadura, por esta razón la *resistencia de diseño en los tornillos en cortante simple*, está dado por:

$$R_1 = 2nR_n \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

R_1 = Resistencia nominal de los tornillos, a cortante simple.

n = número de filas de tornillos.

R_n = Resistencia de diseño de un tornillo en cortante simple.

También será necesaria la revisión del *aplastamiento de la placa de extremo y el miembro al que se conecta* (alma o patín de la columna), el aplastamiento de los tornillos en la placa de extremo (los 2 tornillos superiores) con distancia libre (L_{ev}) menor al paso (S) de los tornillos interiores tienen menos resistencia al aplastamiento, para esto.

$$\text{Para la placa} \quad R_2 = 2[(n-1)R_{di} + R_{de}] \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$\text{Para la columna} \quad R_3 = 2nR_{nt} \quad \text{Ec. 4.3}$$

Donde:

R_{di} = Resistencia de diseño al aplastamiento de un tornillo intermedio.

R_{de} = Resistencia de diseño al aplastamiento de un tornillo extremo.

R_{nt} = Resistencia de diseño al aplastamiento de un tornillo apoyado en la columna.

El mínimo espesor del alma de la viga soportada, que hace que la resistencia por ruptura de cortante del material del alma coincida con la resistencia a cortante de las dos líneas de soldadura de filete, será de:

$$t_{wvmin} = \frac{6.19D}{F_u} \quad \text{Ec. 4.4}$$

Donde:

D = Tamaño de la soldadura, en dieciseisavos de pulgada.

F_u = Resistencia ultima a la tensión, del material de la viga (soportada).

Tablas de diseño del Manual AISC

La Tabla 10-4 del manual AISC Bolted/Welded Shear End-Plate Connections (Conexiones atornillada/soldadas de placa de extremo, en cortante) son ayudas de diseño tabuladas para materiales de soporte y soportados (columna y viga) con $F_y = 50$ y $F_u = 65$ ksi y material de la placa de $F_y = 36$ y $F_u = 58$ ksi. Suponiendo que las resistencias de los electrodos son de 70 ksi. Las resistencias disponibles de los tornillos tabulados y de la placa consideran los estados límites de cortante de los tornillos, aplastamiento del tornillo sobre la placa de extremo, fluencia por cortante de la placa de extremo, ruptura a cortante de la placa de extremo y ruptura por bloque de cortante en la placa de extremo.

Las tablas están tabuladas de 2 a 12 filas de tornillos de $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$ y 1 in de diámetro del grupo A o B y espaciamientos vertical (S) de 3 in, la distancia al borde de la placa (L_{ev} y L_{eh}) se suponen de $1\frac{1}{4}$ de in. La resistencia de la soldadura tabulada considera el estado límite de cortante de la soldadura, asumiendo una longitud de soldadura efectiva igual a la longitud (L) de la placa menos el doble del tamaño de la soldadura.

Ejemplo 1.- Conexión de cortante, con placa de extremo

Diseñe una conexión de cortante, con placa de extremo, para una viga W21x57 al patín de una columna W12x58, la reacción de extremo es de 150 kips (68 toneladas), la viga y la columna son de acero ASTM 992 y la placa es de acero A36. Los tornillos serán tipo A325-N, grupo A, de $\frac{7}{8}$ in de diámetro y electrodos E70. Considere las deformaciones de los agujeros.

Datos para el cálculo

Acero de los perfiles A992: $F_y = 50$; $F_u = 65$ ksi

Cortante (V_u): 150 kips (68 Ton)

Tornillos A325-N Grupo A: $F_{nt} = 90$; $F_{uv} = 54$ ksi

Electrodos E70: $F_{EXX} = 70$ ksi

Viga W21x57

Columna W12x58

d_v : 21.1 in

b_{fc} : 10 in

t_{vv} : 0.405 in

t_{fc} : 0.64 in

T_v : $18\frac{3}{8}$ in

g_c : $5\frac{1}{2}$ in

Placa de cortante

L_{ev} : $1\frac{1}{4}$ in

S : 3 in

L_{eh} : $1\frac{1}{4}$ in

Solución

Geometría de la placa de extremo

Ancho de la placa

$$b_p = 2(L_{eh}) + g_c = 2(1\frac{1}{4}) + 5\frac{1}{2} = 8 \text{ in}$$

Longitud vertical de la placa

$$L = S(n - 1) + 2 L_{ev} = 3(6 - 1) + 2(1\frac{1}{4}) = 17\frac{1}{2} \text{ in, aquí } n \text{ es el número de filas propuesto de 6.}$$

Se verifica si cumple la relación: $\frac{T_v}{2} \leq L \leq T_v$ donde: $9.1875 \leq 17\frac{1}{2} \leq 18\frac{3}{8} \text{ in} \therefore \text{ok}$

De las dimensiones anteriores se utilizara una placa PL $5/16 \times 8 \times 17 1/2$ in en donde el espesor de placa lo proponemos para iniciar la iteración.

Revisión de los estados límites de resistencia

Requisito de resistencia $\phi R_n > V_u$

Resistencia a cortante de los tornillos, ecuación 3.1

$$\phi R_n = \phi F_u A_t N_s$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

$$F_u = F_{nv} = 54 \text{ ksi, de la Tabla 3.3}$$

$$A_t = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (7/8)^2}{4} = 0.6013 \text{ in}^2$$

$$N_s = 1$$

$$n = 6 \text{ filas (12 tornillos)}$$

Calculo de los tornillos necesarios.

$$N = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{150}{(0.75)(54)(0.6013)(1)} = 6.16 \approx 7 \text{ Tornillos}$$

Se necesitan 7 tornillos para resistir la fuerza cortante aplicada, como aún no se consideran los estados límites de la placa pruebe con 12 tornillos en dos filas verticales y seis filas horizontales (n), Tipo A325-N de $7/8$ in de diámetro, en agujeros estándar (STD).

Resistencia al aplastamiento de los tornillos en la placa de extremo y en el elemento de soporte.

Como se consideran las deformaciones en los agujeros de los tornillos (deformaciones ≤ 0.25 in)

$$\text{Aplicando la ecuación 3.2 } \phi R_n = 1.2 t l_c F_u \leq 2.4 t d F_u$$

Tornillos interiores, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

Donde:

$$\phi = 0.75$$

$$t = t_p = 5/16 \text{ in}$$

$$l_c = l_{ci} = s - (d + 1/16) = 3 - (7/8 + 1/16) = 2.0625 \text{ in}$$

$$F_u = 58 \text{ ksi, es el esfuerzo de ruptura a tensión de la placa de extremo.}$$

$$\phi 1.2 t l c F_u = 0.75(1.2) \left(\frac{5}{16} \right) (2.0625)(58) = 33.645 \text{ kips}$$

Tornillos interiores, para el estado límite de deformación de la placa.

$$R_{di} = \phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4) \left(\frac{5}{16} \right) \left(\frac{7}{8} \right) (58) = 28.547 \text{ kips} \leftarrow \text{rige}$$

Tornillos extremos, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

Donde:

$$L_{ev} = 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$l_c = l_{ce} = L_{ev} - \left(\frac{d + \frac{1}{16}}{2} \right) = 1 \frac{1}{4} - \left(\frac{\frac{7}{8} + \frac{1}{16}}{2} \right) = 0.781 \text{ in}$$

$$R_{de} = \phi 1.2 t l c F_u = 0.75(1.2) \left(\frac{5}{16} \right) (0.781)(58) = 12.75 \text{ kips} \leftarrow \text{rige}$$

Tornillos extremos, para el estado límite de deformación de la placa.

$$\phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4) \left(\frac{5}{16} \right) \left(\frac{7}{8} \right) (58) = 28.547 \text{ kips}$$

Para el patín de la columna, para el estado límite de deformación (deformaciones ≤ 0.25 in).

$$\phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4)(0.64) \left(\frac{7}{8} \right) (65) = 65.52 \text{ kips}$$

Para la resistencia en la placa de la ecuación 4.2, donde:

$$R_2 = 2[(n-1)R_{di} + R_{de}] = 2[(6-1)28.547 + 12.74] = 310.95 \geq \mathbf{150 \text{ kips} \therefore ok}$$

Para la resistencia del patín de la columna, de la ecuación 4.3, donde:

$$R_3 = 2nR_{nt} = 2(6)(65.52) = 786.24 \text{ kips} \geq \mathbf{150 \text{ kips} \therefore ok}$$

Fluencia por cortante de la placa de extremo.

Donde:

$$\phi = 1.0$$

$$F_y = 36 \text{ ksi, esfuerzo de fluencia de la placa de extremo.}$$

A_{gv} = Área gruesa sujeta a cortante, in²

$$A_{gv} = 2Lt_p = 2(17\frac{1}{2})\left(\frac{5}{16}\right) = 10.938\text{ in}^2$$

$$\phi R_n = \phi 0.6F_y A_{gv} = (1)(0.60)(36)(10.938) = 236.26\text{ kips} \geq \mathbf{150\text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Ruptura por cortante de la placa de extremo.

Donde:

$$\phi = 0.75$$

A_{nv} = Área neta sujeta a cortante, in²

$$F_u = 58\text{ ksi}$$

$$L = 2L_{ev} + S(n-1) = 2(1\frac{1}{4}) + 3(6-1) = 17\frac{1}{2}\text{ in}$$

$$A_{nv} = 2\left[L - \left(n\left(d + \frac{1}{8}\right)\right)\right]t_p = 2\left[17\frac{1}{2} - \left(6\left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8}\right)\right)\right]\frac{5}{16} = 7.1875\text{ in}^2$$

$$\phi R_n = \phi 0.6F_u A_{nv} = 0.75(0.60)(58)(7.1875) = 187.59\text{ kips} \geq \mathbf{150\text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Fluencia por cortante del alma de la viga soportada.

En la Tabla 9-4 Beam Bearing Constants del Manual AISC, pagina 9-47, para una viga con $F_y = 50\text{ ksi}$, buscamos la viga W21x57, a continuación la columna $\phi_v V_{nx}$ en la cual se obtiene para el método LRFD un valor de $256 \geq \mathbf{150\text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$

Si se emplean las ecuaciones serian de la siguiente manera:

Donde:

$$\phi = 1.0$$

$$F_y = 50\text{ ksi}$$

$$A_{gv} = d_v t_{wv} = (21.1)(0.405) = 8.546\text{ in}^2$$

$$\phi_v V_{nx} = \phi R_n = \phi 0.60F_y A_{gv} = (1)(0.60)(50)(8.546) = 256.4\text{ kips} (\cong 256\text{ de la Tabla 9-4}) \geq \mathbf{150\text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Resistencia por cortante de la soldadura (metal de aporte).

Para el tamaño de la soldadura a utilizar, como el material de la placa y el alma de la viga son diferentes ($F_y = 36$, $F_y = 50 \text{ ksi}$, respectivamente) tomaremos el espesor más delgado de ambas (se recomienda que sea la placa por tener una resistencia menor a la viga).

$$t = \min[t_{wv}, t_p] = \min[0.405, 5/16] = 5/16 \text{ in}$$

De la Tabla 3.4 el tamaño $5/16$ se encuentra entre $1/4$ y $1/2$ in, en donde el tamaño mínimo de la soldadura de filete es de $3/16$ in

Para el tamaño máximo de la soldadura, $w_{max} = t - 1/16 = 5/16 - 1/16 = 1/4 \text{ in}$ por lo cual se proporcionara este espesor de soldadura.

Cálculo de la resistencia de la soldadura.

$$R_{na} = F_{nw}A_{we}$$

Donde:

$F_{nw} = 70 \text{ ksi}$, resistencia de la soldadura

$$\phi = 0.75$$

$$L_s = L - 2w = 17 \frac{1}{2} - 2(\frac{1}{4}) = 17 \text{ in, longitud de la soldadura}$$

$$A_{we} = 0.707wL_s = (2)(0.707)(\frac{1}{4})(17) = 6.0095 \text{ in}^2$$

$$\phi R_n = R_{na} = F_{nw}A_{we} = \phi 0.6 F_{nw}A_{we} = 0.75 (0.60)(70)(6.01) = 189.3 \text{ kips} \geq \mathbf{150 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Solución utilizando las tablas del manual AISC

En el enunciado del ejercicio nos dan los datos necesarios para ir a la Tabla 10-4 (página 10-68) del manual AISC en donde podemos ingresar con un perfil W21, con longitud (L) de $17 \frac{1}{2}$ in que es menor a $T_v = 18 \frac{3}{8}$ in, los tornillos son de agujero de tamaño estándar (STD) y como el diseño se realizara con los factores de carga y resistencia (LRFD) buscaremos una carga (de preferencia mayor) V_u de 150 kips y después el espesor de la placa. Para una soldadura E70 en la misma

tabla en la parte inferior nos proporciona el tamaño mínimo de la soldadura y el espesor mínimo del alma de la viga, al igual que su resistencia en kips.

De la Tabla 10-4 del manual AISC obtenemos

6 filas (n) de tornillos (12 tornillos)

Una placa (t_p) de $5/16$ in de espesor, donde $\phi R_n = 185 \text{ kips} \geq V_u = 150 \text{ kips}$

Un espesor mínimo de alma de viga (t_{wv}) de 0.381 in

La placa será de acero A36.

Revisión de las propiedades iniciales de la placa de extremo.

El paso (S) vertical será de 3 in

Las distancias al extremo (L_{ev} y L_{eh}) serán de $1 \frac{1}{4}$ in

Como el espesor del alma de la viga $t_{wv} = 0.405 > 0.381 \text{ in}$ no se necesita corrección.

Para el ancho de la placa, $b_p = 2(L_{eh}) + g_c = 2(1 \frac{1}{4}) + 5 \frac{1}{2} = 8 \text{ in}$

La longitud vertical de placa, $L = S(n - 1) + 2 L_{ev} = 3(6 - 1) + 2(1 \frac{1}{4}) = 17 \frac{1}{2} \text{ in}$ de esta manera se cumple la relación $\frac{T_v}{2} \leq L \leq T_v$ donde $9.1875 \leq 17 \frac{1}{2} \leq 18 \frac{3}{8} \text{ in}$

Podemos observar en la parte inferior de la tabla 10-4 (Weld and Beam Web Available Strength, kips), para el método LRFD, la resistencia $\phi R_n = 189 \geq 150 \text{ kip}$, con una soldadura E70 de tamaño $1/4$ in, por lo cual es aceptable este espesor.

De acuerdo a lo anterior podemos utilizar una placa PL $5/16 \times 8 \times 17 \frac{1}{2} \text{ in}$, con 12 tornillos en dos filas verticales, Tipo A325-N de $7/8$ in de diámetro, en agujeros estándar (STD) y soldadura E70 de $1/4$ in.

4.2.- Conexiones de cortante, con placa sencilla o placa de cortante

Las conexiones conocidas como placa sencilla o placa de cortante se realizan con una placa rectangular, los agujeros para los tornillos pueden ser preperforados y la placa se puede soldar en taller al miembro de soporte (columna o trabe) a ambos lados del borde de la placa, la viga soportada se atornilla en campo a la placa de la conexión (ver Figura 4.2). Esta conexión se recomienda para el uso en las almas de trabes de soporte o patines de columna de soporte, pero no se recomienda el uso en almas de columnas de soporte, debido a que el espacio para el

atornillado puede ser muy reducido y complicar la operación. La conexión resulta muy simple, económicas por utilizar menos materiales de conexión y preferida por la mayoría de los operarios de estructuras de acero.

El montaje en campo resulta seguro y rápido cuando las vigas conectan los lados opuestos del alma de una trabe, el uso de tornillos es preferentemente apretados que los pretensados para la unión de la conexión. Cuando se aplican cargas pequeñas se ha comprobado que la placa resulta muy rígida, dando como resultado que se puedan presentar momentos en la conexión y la viga que será equivalente a una carga excéntrica sobre los tornillos y la soldadura empleados. La excentricidad se basa en la ubicación del punto de inflexión, como la carga en la viga se incrementa, las fuerzas en la conexión se incrementan también y la placa de cortante tiende a fluir, la fluencia causa que el punto de inflexión se mueva hacia el apoyo y debido a esto se presentará la falla con una excentricidad pequeña. Para esto los momentos de extremo que se desarrollan dependen de las propiedades geométricas y el material de la placa, como, el espesor, tamaño y número de tornillos, flexibilidad del miembro de soporte, etc. Debido a esto las conexiones con placa sencilla deberán diseñarse para que resistan el cortante (V_u) de la viga soportada y un momento excéntrico ($V_u e_b$) donde e_b , es la distancia de la línea de los tornillos al punto de inflexión de la viga, este dependerá de las condiciones de soporte presentes (puede ser flexible o rígido) y el tipo de agujeros que se emplean en la conexión.

Diseño de la placa sencilla

El tipo de arreglo de los tornillos y la conexión pueden generar excentricidad como ya se había mencionado, debido a esto podemos tomar el apoyo como un *apoyo flexible* que posee baja rigidez rotacional y permite rotación en el extremo de la viga unida simplemente apoyada, esta condición de extremo puede existir en conexiones de alma de viga a trabe de un lado, o en vigas de gran peralte conectadas a columnas relativamente ligeras y un *apoyo rígido* es generalmente lo contrario al flexible, por ello tiene rigidez rotacional muy alta que restringirá la rotación en el extremo de la viga unida simplemente apoyada. Puede desarrollarse esta condición cuando una viga se conecta a un patín de columna, o con dos conexiones concurrentes del alma de viga a trabe. Para la selección del tipo de apoyo quedara a consideración del ingeniero. Por lo tanto.

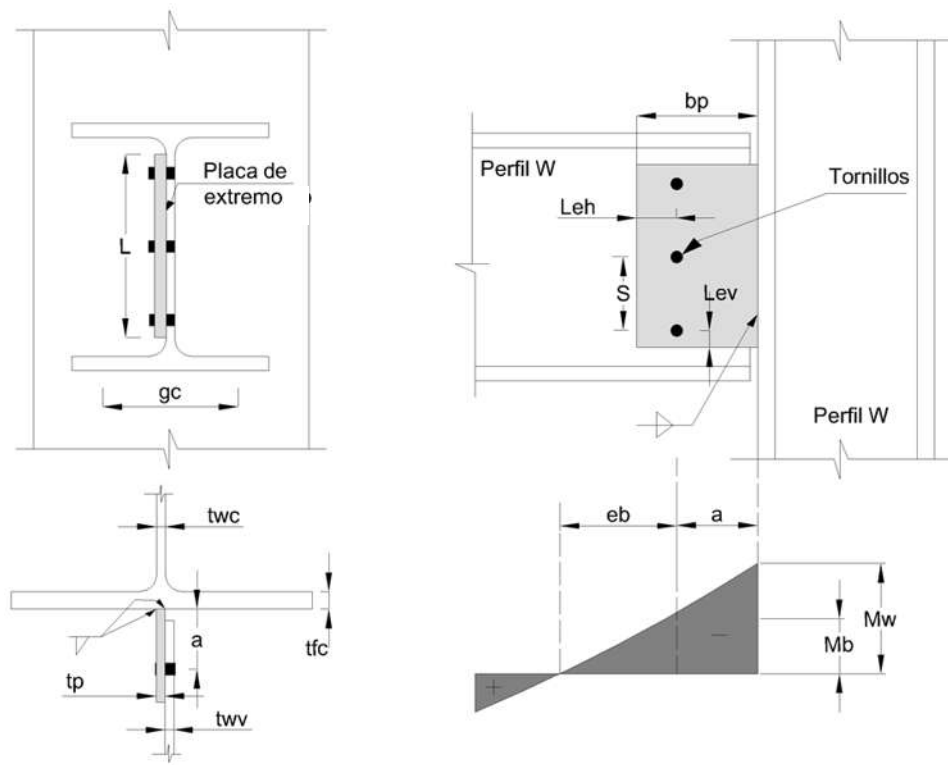


Figura 4. 2 Conexión de cortante, con placa sencilla o placa de cortante.

Para un apoyo flexible

$$e_b = \text{máx} [|(n - 1) - a|, a] \quad \text{Con agujeros de tamaño estándar (STD)} \quad \text{Ec. 4.5}$$

$$e_b = \text{máx} \left[\left| \frac{2n}{3} - a \right|, a \right] \quad \text{Con agujeros de ranura corta (SSL)} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Para un apoyo rígido

$$e_b = |(n - 1) - a| \quad \text{Con agujeros de tamaño estándar (STD)} \quad \text{Ec. 4.7}$$

$$e_b = \left| \frac{2n}{3} - a \right| \quad \text{Con agujeros de ranura corta (SSL)} \quad \text{Ec. 4.8}$$

Donde:

e_b = Excentricidad de los tornillos, in

a = Distancia entre la línea del tornillo y la línea de la soldadura, in

n = Numero de tornillos.

Estas ecuaciones para excentricidades son inconsistentes desde el punto de vista de las dimensiones, las ecuaciones provienen de pruebas y son puramente empíricas en su totalidad y son válidas para conexiones de placa sencilla que satisfacen la relación:

$$2 \frac{1}{2} \leq a \leq 3 \frac{1}{2} \text{ in} \quad \text{Ec. 4.9}$$

La *longitud mínima* de la placa deberá de ser por lo menos igual a la mitad de la dimensión T de la viga soportada, de modo que proporcione estabilidad adecuada para la viga soportada durante el montaje. Si las conexiones de viga se usan sin apoyo lateral deberá de aumentarse en una fila de tornillos para lograr la estabilidad en cargas de servicio. La *longitud máxima* de la placa deberá de ser compatible con la dimensión T si la viga carece de recorte o con el resto del peralte del alma sin incluir los filetes, si la viga es recortada. De lo anterior:

$$\frac{T_v}{2} \leq L \leq T_v \quad \text{Ec. 4.10}$$

Se deberá de evitar el pandeo local de la placa a flexión, para ello el espesor mínimo de la placa deberá de ser:

$$t_{p \min} = \max \left[\frac{L}{234} \sqrt{\frac{F_y}{k}}, 1/4 \text{ in} \right] \quad \text{Ec. 4.11}$$

Donde L es la longitud de la placa en in, k es el coeficiente de pandeo de la placa (de la Tabla 4.1), el espesor mínimo está basado en un modelo, se supone que una mitad del peralte de la placa está sujeta a compresión uniforme por flexión. Para dar ductilidad rotacional en la conexión, el espesor máximo de la placa deberá de ser:

$$t_{p \max} = \max \left[\left(\frac{d}{2} + \frac{1}{16} \right), t_{p \min} \right] \quad \text{Ec. 4.12}$$

Donde d , es el diámetro del tornillo en in, dando lugar a que las deformaciones por aplastamiento ocurrirán en los agujeros de tornillos antes que el cortante de tornillos. Al considerar la excentricidad de la línea de tornillos (e_b) que existe por la carga aplicada, la *resistencia de diseño* de la conexión atornillada será:

$$\phi R_n = C r_n \quad \text{Ec. 4.13}$$

Donde: $\phi = 0.75$, r_n es la resistencia de diseño de un solo tornillo en cortante simple en kips, C es el coeficiente de la Tabla 7-6 del Manual AISC, para una sola línea de tornillos.

Tabla 4. 1 Coeficiente k (Sriramulu, V. 2006).

$2a/L$	k
0.25	16
0.30	13
0.40	10
0.50	6
0.75	2.50
1.00	1.30

Para la resistencia de la conexión soldada, tomando en cuenta la excentricidad (e_w) en la línea de soldadura, es:

$$e_w = e_b + a \quad \text{Ec. 4.14}$$

$$R_{dw} = C C_1 D L_w \quad \text{Ec. 4.15}$$

Donde: C es el coeficiente de la Tabla 8-4 del manual AISC para grupos de soldadura excéntricamente cargados, C_1 es el coeficiente del electrodo utilizado (Tabla 3.5), L_w es la longitud de la soldadura en pulgadas, D el número en dieciseisavos de pulgada del tamaño de soldadura de filete.

Las conexiones con placa sencilla pueden ser realizadas utilizando el procedimiento de *diseño simplificado (mejor conocido como, convencional)* y con el método de la *configuración extendida*, el cual es aplicable a cualquier configuración de conexión de placa sencilla donde la geometría de la conexión no es de importancia. Para el diseño de la *configuración convencional* se deberán de cumplir las siguientes limitaciones:

- Solo se permite una sola fila vertical de tornillos. La cantidad filas horizontales de tornillos en la conexión (n), deberá estar entre 2 a 12.
- La distancia desde la línea del tornillo hasta la línea de la soldadura (a) debe ser igual o inferior a $3\frac{1}{2}$ in.
- Se permitirá el uso de agujeros estándar (STD) y de ranura corta transversal a la dirección de la carga (SSLT).

- d) La distancia al borde vertical (L_{ev}) debe cumplir con los requisitos de la Tabla 3.2 y la distancia al borde horizontal (L_{eh}) deberá ser mayor o igual que $2d$, donde d es el diámetro del tornillo.
- e) El espesor de la placa (t_p) o el espesor del alma de la viga (t_{wv}) deberá de satisfacer la relación:

$$t \leq \frac{d}{2} + \frac{1}{16} \text{ in} \quad \text{Ec. 4.16}$$

- f) La soldadura entre la placa y el soporte deberá tener un tamaño que desarrolle una resistencia de 36 o 50 ksi, de acuerdo a la siguiente relación.

$$w = \frac{5}{8} t_p \quad \text{Ec. 4.17}$$

- g) Los tornillos serán instalados en ajuste apretado, pretensados en deslizamiento crítico.

Tablas de diseño del Manual AISC

La Tabla 10-10 Single-Plate Connections (Conexión con placa única, atornillada/soldada) del manual AISC son ayudas de diseño para conexiones de placa soldadas al soporte (columna o trabe) y atornilladas al miembro soportado (generalmente al alma de la viga soportada). La resistencia disponible esta tabulada para materiales de placa con $F_y = 36 \text{ ksi}$ en la Tabla 10-10a y la Tabla 10-10b para material de placa de $F_y = 50 \text{ ksi}$. La resistencia disponible considera los estados límites de cortante en los tornillos, aplastamiento del tornillo sobre la placa, fluencia por cortante de la placa, ruptura por cortante de la placa, ruptura por bloque de cortante de la placa y cortante de la soldadura.

Los valores se tabulan de 2 a 12 filas de tornillos del grupo A y B, con diámetros de $\frac{3}{4}, \frac{7}{8}, 1$ y $1\frac{1}{8}$ in, con espaciamiento vertical (S) de 3 in, la distancia al borde vertical (L_{ev}) cumple con la sección J3.10 del manual AISC y Tabla 3.3, la distancia al borde horizontal (L_{eh}) se proporciona como dos veces el diámetro ($2d$) del tornillo. Los tamaños de soldadura están tabulados para $\frac{5}{8} t_p$. La excentricidad (a) es de 3 in, pero se puede tomar esta de manera conservadora cuando $2\frac{1}{2} \leq a \leq 3$ los valores son válidos para vigas de acero con soporte lateral y construcciones compuestas, para todos los tipos de carga, tornillos instalados en ajuste apretado o pretensado y para miembros soportados y de soporte de todos los grados de acero.

Ejemplo 2.- Conexiones de cortante, con placa sencilla o placa de cortante

Diseñe una conexión de cortante, con placa sencilla entre una viga W16x50 que se unirá al patín de una columna W14x90, la reacción de extremo es de 49.6 kips (22.5 toneladas), el acero de los perfiles es ASTM 992. Los tornillos serán $\frac{3}{4}$ de diámetro tipo A325-N con agujeros estándar (STD), los electrodos E70 y el acero a utilizar de la placa será A36. Considere las deformaciones de los agujeros.

Datos para el cálculo

Acero de los perfiles A992: $F_y = 50$; $F_u = 65$ ksi

Cortante (V_u): 49.6 kips (22.5 ton)

Tornillos A325-N Grupo A: $F_{nt} = 90$; $F_{uv} = 54$ ksi

Electrodos E70: $F_{EXX} = 70$ ksi

Viga W16x50

Columna W14x90

d_v : 16.3 in

b_{fc} : 14.5 in

t_{wv} : 0.38 in

t_{fc} : 0.71 in

T_v : $13\frac{5}{8}$ in

g_c : $5\frac{1}{2}$ in

Placa de cortante

Lev: $1\frac{1}{4}$ in

S: 3 in

Leh: $1\frac{1}{2}$ in

a: 3 in

Solución

Geometría de la placa sencilla

Ancho de la placa

$$b_p = a + L_{eh} = 3 + 1\frac{1}{2} = 4\frac{1}{2} \text{ in}$$

Longitud vertical de placa

$$L = S(n - 1) + 2 Lev = 3(4 - 1) + 2(1\frac{1}{4}) = 11\frac{1}{2} \text{ in}$$

Se revisara que cumpla con la relación $\frac{T_v}{2} \leq L \leq T_v$ donde: $5\frac{3}{4} \leq 11\frac{1}{2} \leq 13\frac{5}{8} \therefore ok$

Cálculo de la relación del aspecto de la placa

La excentricidad (a) se tomara de 3 in

$$\frac{2a}{L} = \frac{2(3)}{11.5} = 0.522$$

Tomaremos los datos de la Tabla 4.1 y se realizará una interpolación para conocer el coeficiente k , como se muestra a continuación.

$2a/L$		k	
x_1	0.5	k_1	6
x	0.522	k	?
x_2	0.75	k_2	2.5

$$k = k_1 + \left[\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right] (k_2 - k_1)$$

$$k = 6 + \left[\frac{0.522 - 0.5}{0.75 - 0.5} \right] (2.5 - 6) = 5.692$$

Espesor mínimo de la placa, para evitar el pandeo local a flexión.

$$t_{p \min} = \max \left[\frac{L}{234} \sqrt{\frac{F_y}{k}}, 1/4 \text{ in} \right] = \max \left[\frac{11.5}{234} \sqrt{\frac{36}{5.692}}, 1/4 \text{ in} \right] = \max [0.124, 0.25] \therefore t_{p \min} = 1/4 \text{ in}$$

Espesor máximo de la placa, para dar ductilidad rotacional en la conexión.

$$t_{p \max} = \max \left[\left(\frac{d}{2} + \frac{1}{16} \right), t_{p \min} \right] = \max \left[\left(\frac{3/4}{2} + \frac{1}{16} \right), 1/4 \right] = \max [7/16, 1/4] \therefore t_{p \max} = 7/16 \text{ in}$$

Ahora revisaremos el espesor que deberá de cumplir la placa de la siguiente manera.

$t_{p \min} \leq t_p \leq t_{p \max}$ probaremos una placa (t_p) de espesor de $1/4$ in

$$1/4 \leq 1/4 \leq 7/16 \therefore \text{se acepta el espesor de la placa}$$

De lo anterior, proporcione una PL $1/4 \times 4 \frac{1}{2} \times 11 \frac{1}{2}$ in

Cálculo de la soldadura

Para el tamaño de la soldadura (w) a utilizar, como el material de la placa y el patín de la columna son diferentes ($F_y = 36$ y $F_y = 50$ ksi, respectivamente) tomaremos el espesor más delgado de ambas (se recomienda que sea la placa por tener una resistencia menor a la viga).

$$t = \min[b_{fc}, t_p] = \min[0.71, 1/4] = 1/4 \text{ in}$$

De la Tabla 3.4 el tamaño $1/4$ se encuentra entre $1/4$ y $1/2$ in, en donde el tamaño mínimo de la soldadura de filete (w) es de $3/16$ in

$$\text{Para el tamaño máximo de la soldadura, } w_{max} = t - 1/16 = 1/4 - 1/16 = 3/16 \text{ in}$$

$$L_s = L - 2w = 11 \frac{1}{2} - 2(3/16) = 11.125 \text{ in}$$

Por lo cual se proporciona un tamaño (w) de soldadura E70 de $3/16$ in en ambos lados de la placa y longitud (L_s) de 11.125 in con la unión de patín de la columna y la placa.

Revisión de los estados límites de resistencia

$$\text{Requisito de resistencia } \phi R_n > V_u$$

Resistencia a cortante de los tornillos.

$$\phi R_n = \phi F_u A_t N_s$$

Donde:

$$F_u = F_{nv} = 54 \text{ ksi, de la Tabla 3.3}$$

$$A_t = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (3/4)^2}{4} = 0.442 \text{ in}^2$$

$$N_s = 1$$

Cálculo de los tornillos necesarios.

$$N = \frac{V_u}{\phi R_n} = \frac{49.6}{(0.75)(54)(0.442)(1)} = 2.78 \approx 3 \text{ Tornillos}$$

Se necesitan 3 tornillos para resistir la fuerza cortante aplicada, como aún no se consideran los estados límites de la placa pruebe con 4 filas de tornillos (n) en una fila vertical, Tipo A325-N de $3/4$ in de diámetro, en agujeros estándar (STD).

Rectificamos la resistencia de los tornillos:

$$\phi R_n = 4 (0.75)(54)(0.442)(1) = 71.604 \text{ kips} \geq \mathbf{49.6 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Resistencia al aplastamiento de los tornillos en la placa de extremo y en el elemento de soporte.
Como se consideran las deformaciones en los agujeros de los tornillos (deformaciones ≤ 0.25 in)

$$\text{De la ecuación 3.2 se tiene } \phi R_n = 1.2 t l_c F_u \leq 2.4 t d F_u$$

Tornillos interiores, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

Donde:

$$t = t_p = 1/4 \text{ in}$$

$$l_c = l_{ci} = S - (d + 1/16) = 3 - (3/4 + 1/16) = 2.3125 \text{ in}$$

$$F_u = 58 \text{ ksi}$$

$$\phi 1.2 t l_c F_u = 0.75(1.2)(1/4)(2.3125)(58) = 30.171 \text{ kips}$$

Tornillos interiores, para el estado límite de deformación de la placa.

$$R_{di} = \phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4)(1/4)(3/4)(58) = 19.575 \text{ kips} \leftarrow \text{rige}$$

Tornillos extremos, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

Donde:

$$L_{ev} = 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$l_c = l_{ce} = L_{ev} - \left(\frac{d + 1/16}{2} \right) = 1 \frac{1}{4} - \left(\frac{3/4 + 1/16}{2} \right) = 0.844 \text{ in}$$

$$R_{de} = \phi 1.2 t l_c F_u = 0.75(1.2)(1/4)(0.844)(58) = 11.014 \text{ kips} \leftarrow \text{rige}$$

Tornillos extremos, para el estado límite de deformación de la placa.

$$\phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4)(1/4)(3/4)(58) = 19.575 \text{ kips}$$

Para el alma de la viga, para el estado límite de deformación (deformaciones ≤ 0.25 in).

$$t = t_{wv} = 0.38 \text{ in}$$

$$\phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4)(0.38)\left(\frac{3}{4}\right)(65) = 33.345 \text{ kips}$$

Para la resistencia en la placa, donde:

$$\phi R_n = R_2 = [(n-1)R_{di} + R_{de}] = [(4-1)19.575 + 11.014] = 69.739 \text{ kips} \geq \mathbf{49.6 \text{ kips} \therefore ok}$$

Para la resistencia del patín de la columna, donde:

$$\phi R_n = R_3 = n R_{nt} = (4)(33.345) = 133.38 \text{ kips} \geq \mathbf{49.6 \text{ kips} \therefore ok}$$

Fluencia por cortante de la placa de extremo.

Donde:

$$F_y = 36 \text{ ksi}$$

$$L = S(n-1) + 2 L_{ev} = 3(4-1) + 2\left(1 \frac{1}{4}\right) = 11 \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$A_{gv} = L t_p = \left(11 \frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{4}\right) = 2.875 \text{ in}^2$$

$$\phi R_n = \phi 0.6 F_y A_{gv} = (1)(0.60)(36)(2.875) = 62.1 \text{ kips} \geq \mathbf{49.6 \text{ kips} \therefore ok}$$

Ruptura por cortante de la placa de extremo.

Donde:

$$F_u = 58 \text{ ksi}$$

$$A_{nv} = 2 \left[L - \left(n \left(d + \frac{1}{8} \right) \right) \right] t_p = \left[11 \frac{1}{2} - \left(4 \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{8} \right) \right) \right] \frac{1}{4} = 2 \text{ in}^2$$

$$\phi R_n = \phi 0.60 F_u A_{nv} = .75 (0.60)(58)(2) = 52.2 \text{ kips} \geq \mathbf{49.6 \text{ kips} \therefore ok}$$

Fluencia por cortante del alma de la viga soportada.

En la tabla 9-4 Beam Bearing Constants del Manual AISC, pagina 9-49, para una viga con $F_y = 50 \text{ ksi}$, buscamos la viga W16x50, a continuación la columna $\phi_v V_{nx}$ en la cual se obtiene para el método LRFD un valor de $186 \text{ kips} \geq \mathbf{49.6 \text{ kips} \therefore ok}$

Si se emplean las ecuaciones, el desarrollo sería de la siguiente manera:

Donde:

$$F_y = 50 \text{ ksi}$$

$$A_{gv} = d_v t_{wv} = (16.3)(0.38) = 6.194 \text{ in}^2$$

$$\phi_v V_{nx} = \phi R_n = \phi 0.6 F_y A_{gv} = (1)(0.60)(50)(6.194) = 185.79 (\cong 186 \text{ de la Tabla 9-4}) \geq$$

49.6 kips $\therefore$ ok

Resistencia por cortante directo de la soldadura (metal de aporte).

Donde:

$$F_{nw} = 70 \text{ ksi}$$

$$\phi = 0.75$$

$$L_s = L - 2w = 11 \frac{1}{2} - 2\left(\frac{3}{16}\right) = 11.125 \text{ in}$$

$$A_{we} = 2(0.707)(w)(L_s) = (2)(0.707)\left(\frac{3}{16}\right)(11.125) = 2.949 \text{ in}^2$$

$$\phi R_{na} = F_{nw} A_{we} = \phi 0.6 F_{nw} A_{we} = 0.75 (0.60)(70)(2.949) = 92.894 \text{ kips} \geq \mathbf{49.6 \text{ kips} \therefore \text{ok}}$$

Resistencia de los tornillos cargados excéntricamente.

Para un apoyo flexible la excentricidad se calcula como:

$$e_b = \max [|(n-1) - a|, a] = \max [|(4-1) - 3|, 3] = \max [0, 3] \therefore e_b = 3 \text{ in}$$

En la Tabla 7-6 Coeficientes C para grupos de tornillos cargados excéntricamente, página 7-30 del Manual AISC entraremos para una línea vertical de tornillos con: $\theta = 0^\circ$, $n = 4$, $S = 3 \text{ in}$, $e_x = e_b = 3 \text{ in}$

El coeficiente $C = 2.81$, $r_n = 17.901 \text{ kips}$ (resistencia para un tornillo). La resistencia de diseño del grupo de tornillos cargados excéntricamente se calcula como:

$$R_n = C r_n = 2.81 (17.901) = 50.30 \text{ kips} \geq \mathbf{49.6 \text{ kips} \therefore \text{ok}}$$

Para un apoyo rígido la excentricidad se determina como:

$$e_b = |(4 - 1) - 3| = 0 \text{ in}$$

Como $e_b = 0 \text{ in}$, la resistencia de diseño del grupo de tornillos será calculada de igual forma que el cortante en los tornillos, donde $\phi R_1 = n R_n = 4 (17.901) = 71.604 \geq 49.6 \text{ kips} \therefore \text{ok}$ como se mencionó anteriormente la elección del tipo de apoyo queda en consideración del ingeniero, por esta razón tomaremos el apoyo como rígido.

Resistencia de la soldadura cargada excéntricamente.

Si consideramos el apoyo como flexible la excentricidad para la soldadura se calcula como:

$$e_w = e_b + a = 3 + 3 = 6 \text{ in}$$

En la Tabla 8-4 Coeficientes C para grupos de soldadura cargados excéntricamente, página 8-66 del Manual AISC entraremos con: $\theta = 0^\circ$, $e_x = e_w = 6 \text{ in}$, $kl = \frac{1}{4} \text{ in}$ (es el espesor de la placa t_p)

$$a = \frac{e_x}{l} = \frac{6}{11.5} = 0.52$$

$$k = \frac{kl}{l} = \frac{1/4}{11.5} = 0.022 \cong 0$$

Entramos a la Tabla 8-4 con los datos anteriores y realizaremos una interpolación para conocer el coeficiente C, como se muestra a continuación.

<i>a</i>		<i>k</i>	
a_1	0.50	k_1	2.30
<i>a</i>	0.52	<i>C</i>	?
a_2	0.60	k_2	2.00

$$C = k_1 + \left[\frac{a - a_1}{a_2 - a_1} \right] (k_2 - k_1)$$

$$C = 2.3 + \left[\frac{0.52 - 0.5}{0.60 - 0.5} \right] (2.00 - 2.3) = 2.24$$

El coeficiente $C_1 = 1$ de la Tabla 3.6 para electrodos E70, $D = 3$ y calculamos la resistencia de la soldadura cargada excéntricamente para un apoyo flexible.

$$\phi R_n = C C_1 D l = (0.75)(2.24)(1)(3)(11.5) = 57.96 \text{ kips} \geq 49.6 \text{ kips} \therefore \text{ok}$$

Para un apoyo rígido la excentricidad será: $e_w = e_b + a = 0 + 3 = 3 \text{ in}$

El procedimiento es similar al apoyo flexible por lo cual; $C = 3.26$ y la resistencia de la soldadura:

$$\phi R_n = CC_1 D l = (0.75)(3.26)(1)(3)(11.5) = 84.35 \text{ kips} \geq \mathbf{49.6 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

El apoyo lo tomaremos de la misma manera que la excentricidad de los tornillos, como rígido, como se puede observar ya sea rígido o flexible los métodos descritos cumplen para la carga (V_u) aplicada.

Resistencia por bloque de cortante.

$$R_n = 0.60F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt} \leq 0.60F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}$$

Donde:

$$U_{bs} = 1$$

$$A_{gv} = t_p [L_{ev} + S(n-1)] = \frac{1}{4} [1 \frac{1}{4} + 3(4-1)] = 2.563 \text{ in}^2$$

$$A_{nv} = \left[[L_{ev} + S(n-1)] - \left[\left(n - \frac{1}{2} \right) \left(d + \frac{1}{8} \right) \right] \right] t_p = \left[[1.25 + 3(4-1)] - \left[\left(4 - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{8} \right) \right] \right] \frac{1}{4} = 1.797 \text{ in}^2$$

$$A_{nt} = \left[L_{eh} - \frac{\left(d + \frac{1}{8} \right)}{2} \right] t_p = \left[1.5 - \frac{\left(\frac{3}{4} + \frac{1}{8} \right)}{2} \right] \frac{1}{4} = 0.266 \text{ in}^2$$

$$R_{b1} = \phi [0.60F_u A_{nv} + U_{bs}F_u A_{nt}] = 0.75 [(0.6)(58)(1.797)] + [(1)(58)(0.266)] = 58.473 \text{ kips}$$

$$R_{b2} = \phi [0.60F_y A_{gv} + U_{bs}F_u A_{nt}] = 0.75 [(0.6)(36)(2.563)] + [(1)(58)(0.266)] = 53.092 \text{ kips}$$

$$R_n = \min[R_{b1}, R_{b2}] = [58.473, 53.092] = 53.092 \geq \mathbf{49.6 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Solución utilizando las tablas del manual AISC

Ingresamos a la Tabla 10-10a del manual AISC (página 10-110) en donde buscaremos para el método LRFD una resistencia igual o mayor a 49.6 (V_u). Ahora nos moveremos en la columna LRFD y en la parte superior observamos que nos da un espesor de placa en pulgadas y en la

misma columna en la parte inferior nos dá $\frac{3}{16}$ in para un tamaño de soldadura, en la parte izquierda en la columna “n” nos da el número de tornillos de 4 con una longitud (L) de $11\frac{1}{2}$ in

De la Tabla 10-10a obtenemos:

4 filas (n) de tornillos (4 tornillos)

Para una placa de $\frac{1}{4}$ in de espesor (t_p) $\phi R_n = 52.2 \text{ kips} \geq V_u = 49.6 \text{ kips} \therefore ok$

Para la soldadura de tamaño $\frac{3}{16}$ in, $R_n = 52.2 \text{ kips} \geq V_u = 49.6 \text{ kips} \therefore ok$

La placa será de acero A36.

Revisión de las propiedades iniciales.

El paso (S) vertical será de 3 in

Espesor de la placa o alma de la viga; $t \leq \frac{d}{2} + \frac{1}{16} = \frac{0.75}{2} + \frac{1}{16} = 0.423 \text{ in}$

Como $t_{wv} = 0.38$ y $t_p = \frac{1}{4}$ son menores a $t = 0.423 \text{ in} \therefore ok$

$L_{eh} = 2d = 2(\frac{3}{4}) = 1\frac{1}{2} \text{ in}$

$a = 3 \text{ in}$

Para el ancho de la placa, $b_p = (a + L_{eh}) = 3 + 1\frac{1}{2} = 4\frac{1}{2} \text{ in}$

$L_{ev} = 1 \text{ in}$ (Tabla 3.3), proporcionaremos una distancia de $1\frac{1}{4} \text{ in}$

Longitud de la placa, $L = S(n - 1) + 2 L_{ev} = 3(4 - 1) + 2(1\frac{1}{4}) = 11\frac{1}{2} \text{ in}$, de esto se cumple la relación $\frac{T_v}{2} \leq L \leq T_v$ donde: $5\frac{3}{4} \leq 11\frac{1}{2} \leq 13\frac{5}{8} \text{ in}$

De lo anterior, proporcione una PL $\frac{1}{4} \times 4\frac{1}{2} \times 11\frac{1}{2} \text{ in}$, con 4 tornillos de diámetro $\frac{3}{4}$ in tipo A325-N en agujeros estándar (STD) y electrodos E70 con tamaño de soldadura de $\frac{3}{16}$ in en ambos lados de la placa.

4.3.- Conexión de cortante, con asiento atiesado

Las conexiones de asiento atiesado generalmente su configuración consta de una placa de asiento, una placa rigidizante y un ángulo superior, pueden estar atornillados o soldados. Una conexión atornillada puede ser de una placa de asiento formada por un par de ángulos o una T estructural o sección de un perfil W cortado.

Este tipo de conexiones se usan para soportar cargas demasiado grandes debido a que pueden resistir momentos flexionante muy grandes. El elemento atiesador o rigidizante es mucho más rígido que el lado sobresaliente del asiento, por lo tanto, se supone que soporta toda la carga. Las conexiones de asiento atiesadas suelen usarse en vigas conectadas al alma de columnas. También se pueden emplear en vigas conectadas a patines de columnas, si el atiesador de asiento no interfiere con los requisitos de previsión de fuego o con los arquitectónicos, se pueden encontrar dos tipos de conexión de asiento debido a la carga soportada.

- La reacción es soportada con el alma de la viga directamente alineada con el plano del elemento rigidizante (ver Figura 4.3).
- La viga puede ser orientada de un modo que el plano del alma de la viga quede a 90° del plano del elemento rigidizante, ejemplo de este puede ser, una ménsula de columna que soporte una trabe de grúa.

El uso de estas conexiones se usa en conjunto con un ángulo superior que evite la rotación de la viga alrededor de su eje longitudinal en los soportes. Existe una diferencia entre las conexiones atornilladas y las soldadas, pues se desprecia el efecto de la excentricidad de la carga en las atornilladas, pero si se incluye en el cálculo de las soldadas.

Diseño de la conexión de asiento atiesada soldada

Esta conexión se realiza con dos placas soldadas en forma de T (ver Figura 4.3) la *placa superior* también conocida como placa de asiento, suele hacerse de $\frac{3}{8}$ o $\frac{1}{2}$ in de espesor. La *longitud de la placa* de asiento es algo mayor que el ancho del patín de la viga soportada. El espesor de la placa vertical de apoyo, conocida como placa atiesadora no deberá ser menor que el espesor del alma de la viga. La conexión se suelda en taller al miembro de soporte en la posición plana o baja. La soldadura del elemento de soporte (columna o trabe) corren a todo lo largo de la longitud (L), a cada lado de la placa atiesadora y continúan a lo largo inferior de la longitud horizontal de la placa de asiento. La longitud de cada soldadura horizontal será por lo general de $\frac{1}{5}$ a $\frac{1}{2}$ de la soldadura vertical.

La conexión debe diseñarse para proporcionar una longitud adecuada de apoyo a la viga soportada, para evitar el pandeo de la placa atiesadora. Al igual para soportar el cortante directo y el momento flexionante que se produce en la soldadura que une el asiento con el elemento de soporte. La longitud de la placa (L) se determina con la longitud de la soldadura vertical que proporcione una resistencia igual o superior a la solicitada (V_u).

La *fluencia local del alma de la viga soportada*, corresponde al estado límite de fluencia local del alma, para cualquier perfil laminado con un $F_y = 50 \text{ ksi}$ la resistencia de diseño pueden determinarse con las constantes ϕR_1 y ϕR_2 de la Tabla 9-4 Beam Bearing Constants, pagina 9-40, del Manual AISC. Si se tiene una viga grande con una reacción pequeña pueden dar valores negativos, por lo cual se recomienda que N sea tomado como un valor no menor a de k_b , de esta manera:

$$N_1 \geq \max \left[\frac{R_u - \phi R_1}{\phi R_2}, k_b \right] \quad \text{Ec. 4.18}$$

Donde:

k_b = Distancia de la cara extrema del patín de la viga soportada al filete de la base del alma, en pulgadas, se puede usar el valor k_{des} tabulado en la Tabla 1-1 del manual AISC.

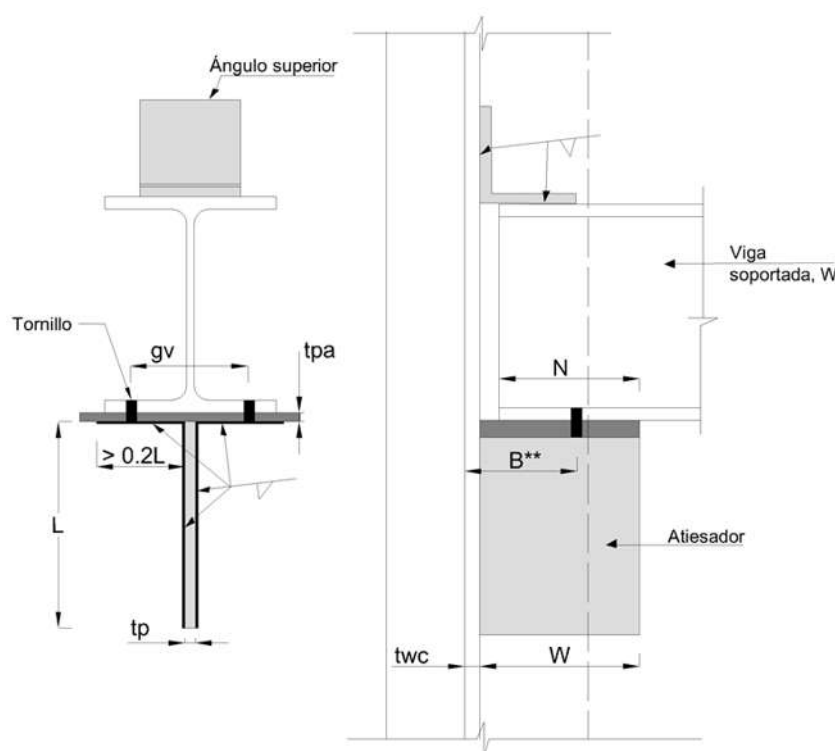


Figura 4. 3 Conexión de cortante, con asiento atiesado.

La *inestabilidad del alma de vigas soportadas* correspondiente al estado límite de inestabilidad del alma sujeta a fuerzas de compresión concentradas (reacción de extremo), se puede determinar

para perfiles de acero laminado con un $F_y = 50 \text{ ksi}$ a partir de los coeficientes $\phi R_3, \phi R_4, \phi R_5, \phi R_6$ tabulados en la Tabla 9-4 del AISC, de esta manera N_2 se calcula como sigue.

$$N_2 \geq \left[\frac{R_u - \phi R_3}{\phi R_4} \right] \quad \text{Para} \quad \frac{N}{d_v} \leq 0.2 \quad \text{Ec. 4.19}$$

$$N_2 \geq \left[\frac{R_u - \phi R_5}{\phi R_6} \right] \quad \text{Para} \quad \frac{N}{d_v} > 0.2 \quad \text{Ec. 4.20}$$

Es poco probable que ocurra la inestabilidad del alma en vigas de patín ancho laminadas sujetas a cargas uniformes distribuidas, a modo que el claro sea demasiado corto en comparación con el peralte de la viga en cuestión. Pero puede ser un modo importante de falla para vigas de soporte que tienen almas delgadas.

Para los coeficientes de las ecuaciones 4.18, 4.19 y 4.20 en donde ϕR_1 y ϕR_2 el factor es $\phi = 1$ y $\phi R_3, \phi R_4, \phi R_5, \phi R_6$ el factor $\phi = 0.75$, se determinan para:

$$\phi R_1 = 2.5kF_y t_w \quad \text{Ec. 4.21}$$

$$\phi R_2 = F_y t_w \quad \text{Ec. 4.22}$$

$$\phi R_3 = 0.40 t_w^2 \sqrt{\frac{EF_y t_f}{t_w}} \quad \text{Ec. 4.23}$$

$$\phi R_4 = 0.40 t_w^2 \left(\frac{3}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \sqrt{\frac{EF_y t_f}{t_w}} \quad \text{Ec. 4.24}$$

$$\phi R_5 = 0.40 t_w^2 \left(1 - 0.2 \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right) \sqrt{\frac{EF_y t_f}{t_w}} \quad \text{Ec. 4.25}$$

$$\phi R_6 = 0.40 t_w^2 \left(\frac{4}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \sqrt{\frac{EF_y t_f}{t_w}} \quad \text{Ec. 4.26}$$

La reacción de la viga R_u actúa a una distancia $1/2 N_{req}$ medida a partir del borde libre de la placa atiesadora. Donde N_{req} es la longitud de apoyo requerido por la fluencia local del alma y por la inestabilidad del alma, se mide en pulgadas, esta se determina con:

$$N_{req} = \text{máx} [N_1, N_2] \quad \text{Ec. 4.27}$$

De esta manera se determina la excentricidad como:

$$e = W - \frac{N_{req}}{2} \quad \text{Ec. 4.28}$$

Estas conexiones están sujetas a cortante directo R_u y a momento flexionante $R_u e$, el esfuerzo normal en la soldadura se calcula con el supuesto de que resiste todo el momento producido por la carga. Para ello se supone que la longitud de la soldadura superior es un determinado porcentaje de la longitud de la soldadura vertical, al ser $d = L$ y $b = 0.2L$. Cuando se tienen electrodos E70 y una soldadura de tamaño D , la capacidad del asiento atiesado será:

$$R_{dw} \equiv \phi R_n \geq R_u \quad \text{y} \quad R_{dw} = \frac{(1.392D)(2.4L)}{\sqrt{1+16(e/L)^2}} \quad \text{Ec. 4.29}$$

Donde:

R_u = Reacción de extremo de la viga sujeta a cargas factorizadas, kips

R_{dw} = Resistencia de diseño de la soldadura, kips

e = Brazo del momento (excentricidad), in

Para el espesor de la placa atiesadora sujeta a carga excéntrica estará determinada por:

$$t_p = \frac{R_u(4W-3N)}{\phi(1.8F_{yp})W^2} \quad \text{Ec. 4.30}$$

Donde:

t_p = Espesor de la placa atiesadora, in

F_{yp} = Esfuerzo de fluencia del material de atiesador, ksi

N = Longitud de contacto de la viga, in

W = Ancho de la placa atiesadora, in

$\phi = 0.75$

La placa atiesadora deberá tener resistencia a flexión adecuada, por lo tanto.

$$M_{dp} \geq M_{up} \quad \text{Ec. 4.31}$$

Con:

$$M_{dp} = \phi_b S_{xp} F_{yp} \quad M_{up} = R_u e \quad S_{xp} = \frac{1}{6} t_p L^2 \quad \text{Ec. 4.32}$$

Donde:

M_{up} = Momento flexionante en el atiesador que actúa como viga en voladizo.

M_{dp} = Resistencia a la flexión de la placa atiesadora.

Tablas de diseño del Manual AISC

Las Tablas 10-8, página 10-98, Bolted/Welded Stiffened Seated Connections (Conexiones atiesadas atornilladas/soldadas) del manual AISC, son ayudas de diseño para conexiones de asiento atiesadas soldadas al soporte y atornilladas a la viga soportada. Se utiliza el método elástico para la realización de estas tablas. Los valores tabulados están basados en electrodos E70, para cualquier otro electrodo se deberán usar los coeficientes de la Tabla 3.5. Para el uso de estas tablas se debe tener en cuenta lo siguiente.

- a) El espesor de la placa de asiento horizontal o la sección en T, no deberá ser menor a $3/8$ o $1/2$ in, si el asiento y el atiesador se construyen a partir de dos placas, la placa de atiesador deberá tener la terminación adecuada para que la placa de asiento se pueda colocar adecuadamente, Las soldaduras que conectan las dos placas deberá tener una resistencia igual o mayor que la soldadura horizontal al soporte debajo de la placa del asiento.
- b) El espesor mínimo de la placa de atiesador (t_p) no deberá ser menor al espesor del alma de la viga (t_{wv}) multiplicada por la relación de los esfuerzos de fluencia de la viga (F_{yv}) y de la placa de atiesador (F_{yp}), de esta manera:

$$t_p \geq \frac{t_{wv} F_{yv}}{F_{yp}} \quad \text{Ec. 4.33}$$

- c) El espesor mínimo de la placa de atiesador (t_p) se basa en la idea de que deberá resistir todo el cortante de las dos soldaduras, debido a esto deberá ser por lo menos:

$$t_p \geq 2w \quad \text{Para atiesadores con } F_{yp} = 36 \text{ ksi.} \quad \text{Ec. 4.34}$$

$$t_p \geq 1.5w \quad \text{Para atiesadores con } F_{yp} = 50 \text{ ksi.} \quad \text{Ec. 4.35}$$

- d) Para electrodos E70, el espesor mínimo del alma de la columna es:

$$t_{wc \min} = \frac{3.09D}{F_u} \quad \text{Ec. 4.36}$$

Donde:

D = Espesor de la soldadura en dieciseisavos de pulgada.

F_u = Esfuerzo mínimo a tensión del elemento conectado, ksi

- e) Debido a que la placa de atiesador elimina la flexión del asiento, se recomienda tener el lado sobresaliente extendido lo más próximo posible del borde del asiento. Para los cálculos se considerara el ancho efectivo del lado sobresaliente que soporta al asiento como $3/4$ in menor que su longitud real.

Cuando las soldaduras se alinean en lados opuestos del soporte, el espesor mínimo del soporte es la suma de los espesores requeridos para cada soldadura. En cualquier caso, cuando hay menos del espesor mínimo del material, la resistencia disponible de la soldadura debe reducirse por la relación del espesor proporcionado al espesor mínimo. Si las combinaciones del espesor del material y el tamaño de la soldadura seleccionados de la Tabla 10-8 del manual AISC exceden los límites de la sección de especificación AISC J2.2, se debe aumentar el tamaño de la soldadura o el espesor del material.

Conexiones atiesadas al alma de columnas

El eje vertical de la conexión, cuando está soldada a una placa (como el alma de una columna) produce flexión en la placa del alma. Si ésta es muy delgada puede verse sometida a un exceso de esfuerzo, debido a esto cuando la conexión se realiza en el alma de una columna se imponen las restricciones siguientes para asegurar que la falla de la soldadura ocurra antes que la falla del alma de la columna.

- a) Este método simplificado, es aplicable a las siguientes secciones de columnas.

W14x43-730	W12x40-336	W10x33-112
W8x24-67	W6x20 y 25	W5x16 y 19
- b) La viga soportada debe estar atornillada a la placa de asiento con tornillos de alta resistencia para que resistan las fuerzas de apalancamiento desarrolladas por rotación de la conexión en la carga última, se localizaran a $W/2$ o $2\frac{5}{8}$ in de la cara del alma de la columna. No se recomienda soldar el patín de la viga a la placa de asiento, debido a que las soldaduras pierden la resistencia y ductilidad requerida.
- c) Cuando la conexión de asiento en que el ancho $W = 8$ o 9 in y $3\frac{1}{2} < B < W/2$ o en que $W = 7$ in y $3 < B \leq W/2$ para una columna W14x43 consulte a Spinto y Ellifritt, estas limitaciones se pueden revisar en la parte inferior de la tabla 10-8 del manual AISC en la sección *limitaciones para conexión al alma de la columna*.
- d) El ángulo superior puede estar atornillado o soldado, pero debe tener un espesor mínimo de $\frac{1}{4}$ in

La placa de asiento no deberá soldarse a los patines de la columna. De realizarlo, se introducirán momentos relativamente grandes en la sección de la columna lo cual para este procedimiento de diseño se despreciará.

Ejemplo 3.- Conexión de cortante, con asiento atiesado atornillado/soldado

Diseñe una conexión de asiento atiesado para conectar una viga W21x68 al alma de una columna W14x90. La reacción solicitada es de 125 kips, utilice tornillos A325-N de $\frac{3}{4}$ de diámetro para conectar la viga soportada a la placa de asiento. La soldadura será E70, los perfiles son de acero A992 y placas A36.

Datos para el cálculo

Acero de los perfiles A992: $F_y = 50$; $F_u = 65$ ksi

Tornillos A325-N Grupo A: $F_{nt} = 90$; $F_{uv} = 54$ ksi

Viga W21x68

d_v : 21.1 in

t_{wv} : 0.43 in

b_{fv} : 8.27 in

t_{fv} : 0.685 in

$k_{des\ v}$: 1.19 in

g_v : $5\frac{1}{2}$ in

Cortante (V_u): 125 kips (56 Ton)

Electrodos E70: $F_{EXX} = 70$ ksi

Columna W14x90

d_c : 14 in

t_{wc} : 0.44 in

b_{fc} : 14.5 in

t_{fc} : 0.71 in

T_c : 10 in

g_c : $5\frac{1}{2}$ in

Solución

Fluencia por cortante del alma de la viga soportada.

En la Tabla 9-4 Beam Bearing Constants del Manual AISC, pagina 9-49, para una viga con $F_y = 50$ ksi, buscamos la viga W21x68, a continuación la columna $\phi_v V_{nx}$ en la cual se obtiene para el método LRFD un valor de 272 kips $\geq$ **125 kips** $\therefore$ **ok**

Si se emplean las ecuaciones de la siguiente manera se tiene:

$$A_{gv} = d_v t_{wv} = (21.1) (0.43) = 9.073 \text{ in}^2$$

$$\phi_v V_{nx} = \phi R_n = \phi 0.60 F_y A_{gv} = (1) (0.60) (50) (9.073) = 272.19 \text{ kips} (\cong 272 \text{ de la Tabla 9-4}) \geq \text{125 kips} \therefore \text{ok}$$

Cálculo de las dimensiones de placa de asiento, W.

La fluencia local del alma de la viga soportada es:

$$\phi R_1 = 2.5kF_{yw}t_w = 1(2.5)(1.19)(50)(0.43) = 63.96 \text{ kips}$$

$$\phi R_2 = F_{yw}t_w = (1)(50)(0.43) = 21.5 \text{ kips}$$

$$k_b = k_{des v} = 1.19 \text{ in}$$

$$N_1 = \max \left[\frac{R_u - \phi R_1}{\phi R_2}, k_b \right] = \max \left[\frac{125 - 63.96}{21.5}, 1.19 \right] = \max [2.84, 1.19] = 2.84 \text{ in}$$

De la inestabilidad del alma de la viga soportada se tiene lo siguiente:

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

$$\begin{aligned} \phi R_5 &= 0.40t_w^2 \left(1 - 0.2 \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right) \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} \\ &= (0.75)(0.40(0.43)^2) \left(1 - 0.2 \left(\frac{0.43}{0.685} \right)^{1.5} \right) \sqrt{\frac{29000 * 50 * 0.685}{0.43}} = 75.92 \text{ kips} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_6 &= 0.40t_w^2 \left(\frac{4}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \sqrt{\frac{EF_{yw}t_f}{t_w}} = 0.40(0.43)^2 \left(\frac{4}{21.1} \right) \left(\frac{0.43}{0.685} \right)^{1.5} \sqrt{\frac{29000 * 50 * 0.685}{0.43}} \\ &= 7.95 \text{ kips} \end{aligned}$$

$$R_u = V_u = 125 \text{ kips}$$

$$N_2 = \left[\frac{R_u - \phi R_5}{\phi R_6} \right] = \left[\frac{125 - 75.92}{7.95} \right] = 6.17 \text{ in}$$

Para el ancho del atiesador está regido por la inestabilidad del alma, a esta se le deberá aumentar una holgura de borde de la viga de $1/2$ y de $1/4$ in para considerar el posible acortamiento de la longitud de la viga. Se puede determinar para perfiles de acero laminado $F_y = 50 \text{ ksi}$ a partir de los coeficientes $\phi R_1, \phi R_2, \phi R_3, \phi R_4, \phi R_5$ y ϕR_6 tabulados en la Tabla 9-4 del manual AISC, de esta manera:

$$W = \max [N_1, N_2] + 3/4 = \max [2.84, 6.17] + 3/4 = 6.17 + 3/4 = 6.92 \approx 7.0 \text{ in}$$

$$0.2d_v = 0.2(21.1) = 4.22 \text{ in}$$

De esta manera la longitud N será de 6.25 in y la relación $\frac{N}{d_v} = 0.29 > 0.2$ se satisface. Para conocer la excentricidad de la soldadura: $e = W - \frac{N_{req}}{2} = 7 - 3.125 = 3.875 \text{ in}$

Determinación de la placa de atiesador.

Ahora propondremos un tamaño de soldadura de $\frac{5}{16}$ in ($D = 5$) sustituyendo en la ecuación y simplificando.

$$L = 1.25 \sqrt{\frac{Ru(4e)}{3.3408D}} = 1.25 \sqrt{\frac{125(4)(3.875)}{3.3408(5)}} = 13.46 \approx 14 \text{ in}$$

El espesor de la placa sujeta a carga excéntrica está dado por.

$$t_p \geq \frac{R_u(4W - 3N)}{\phi(1.8F_{yp})W^2} = \frac{125((4 * 7) - (3 * 6.25))}{0.75(1.8 * 36)7^2} = 0.486 \text{ in}$$

Espesor de la placa de atiesador con relación a los esfuerzos de fluencia de la placa y perfil de la viga es.

$$t_p \geq \frac{t_{wv}F_{yv}}{F_{yp}} = \frac{0.43(50)}{36} = 0.597 \text{ in}$$

Espesor de la placa de atiesador para que la soldadura resista todo el cortante solicitado, como $F_{yp} = 36 \text{ ksi}$ de la ecuación 4.34 tenemos:

$$t_p \geq 2w = 2\left(\frac{5}{16}\right) = 0.625 = \frac{5}{8} \text{ in} \leftarrow Rige$$

Espesor de la placa de atiesador para que desarrolle la flexión necesaria, sustituyendo la ecuación y simplificando.

$$t_p \geq \frac{6R_u e}{\phi L^2 F_{yp}} = \frac{6(125)(3.875)}{0.9(14^2)(36)} = 0.458 \text{ in}$$

De las revisiones anteriores para el espesor de placa rige $t_p \geq 2w = \frac{5}{8} \text{ in}$ por lo tanto para la placa de atiesador se proporcionara una PL $\frac{5}{8} \times 7 \times 14 \text{ in}$, con soldadura E70 de tamaño $\frac{5}{16} \text{ in}$

Espesor mínimo del alma de la columna.

$$t_{wc \min} = \frac{3.09D}{Fu} = \frac{3.09(5)}{65} = 0.238 \text{ in de esta relación, } t_{wc} = 0.44 \geq t_{wc \min} = 0.238 \text{ in} \therefore \text{ok}$$

Determinación de la placa de asiento.

El gramil de la columna (g_v) es de $5\frac{1}{2} \text{ in}$, para ello se recomienda un ancho de 8 in para acomodar los tornillos que conectaran el patín de la viga con la placa de asiento. Para ello la longitud de la soldadura horizontal que unirá la placa de asiento con el alma de la columna será $0.2L = 0.2(14) = 2.8 \approx 3 \text{ in}$ en ambos lados de la placa de asiento.

De lo anterior proporcione una PL $\frac{3}{8} \times 7 \times 8 \text{ in}$ de asiento y 2 tornillos A325-N de $\frac{3}{4}$ de diámetro, con soldadura E70 y tamaño $\frac{5}{16} \text{ in}$.

Geometría del ángulo superior.

Proporcione un ángulo superior $L4 \times 4 \times \frac{1}{4} \text{ in}$ con soldadura de tamaño $\frac{1}{8}$ de filete a lo largo de la base del ángulo al patín de la viga y al alma de la columna.

Solución utilizando las tablas del manual AISC

En la Tabla 10-8 Bolted/Welded Stiffened Seated Connections pagina 10-100 del manual AISC, para $W=7 \text{ in}$, soldadura E70, en la columna LRFD se puede leer para una longitud (L) de 15 in y un espesor de soldadura de $\frac{5}{16} \text{ in}$, una resistencia de $139 \geq 125 \text{ kips} \therefore \text{ok}$

4.4.- Conexión de momento con placa de patín

Las conexiones con placas de patín tipo FR (ver Figura 4.4), se realizan con dos placas (una placa en el patín superior y otra en el patín inferior) a los patines de la viga que se conectan a los patines de la columna, estas placas se sueldan en taller a la columna y pueden soldarse o atornillarse a los patines de la viga soportada en campo. Una tercera placa conocida como placa de cortante, une el alma de la viga con la columna, esta se perfora y se suelda en taller a la columna de soporte y se atornilla en campo a la viga soportada.

Estas conexiones deberán diseñarse para transferir los momentos factorizados, las fuerzas axiales y de cortante de la viga a la columna. Se supondrá que las placas de patín resistirán por completo el momento de extremo M_u de la viga, de esta manera la fuerza axial (tensión-compresión) que actuará en el patín será dada por.

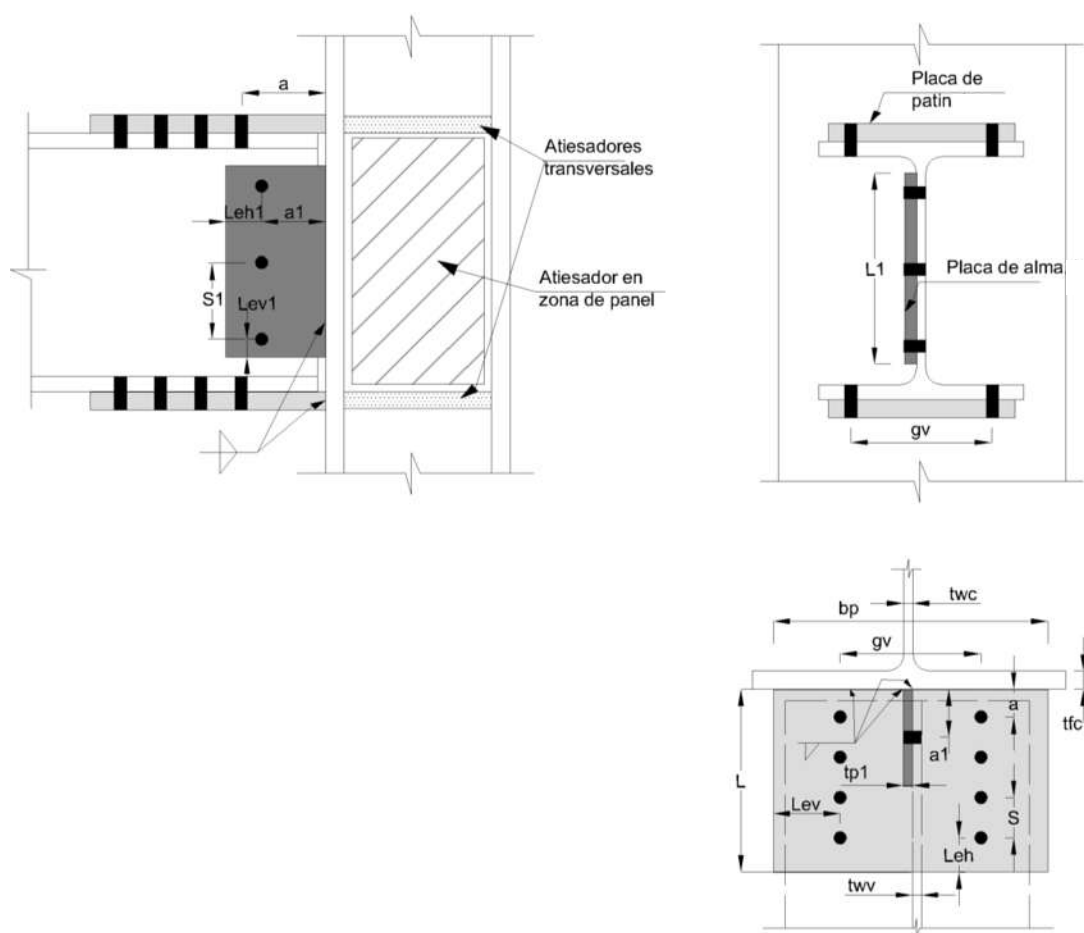


Figura 4. 4 Conexión con placa de patín.

Reescribiendo la ecuación 3.23 para la fuerza en las placas de patín como:

$$P_{ufp} = \frac{M_u}{d_{fp}} \quad \text{Ec. 4.37}$$

Donde:

P_{ufp} = Fuerza axial factorizada en la placa de patín, en tensión o compresión, kips

M_u = Momento de extremo factorizado de viga, kips-in

d_{fp} = Brazo de momento entre las líneas centrales de las placas de patín (se puede tomar como conservador el peralte de la viga, d_v , para los cálculos preliminares), in

Si existe una fuerza axial, se supone que se distribuye de manera igual a los patines de la viga y se suman algebraicamente a las fuerzas de patín obtenidas con la ecuación 4.37. Los tornillos que unen las placas a los patines de la viga estarán sujetos a cortante simple por la fuerza de tensión en la placa de patín superior y por la fuerza de compresión en el patín inferior. La placa superior se diseña como un miembro cortó a tensión.

La soldadura empleada para transmitir la fuerza axial en las placas de patín de la viga al patín de la columna se realiza mediante soldadura de filete o ranura. Se supone que el cortante de la viga (V_u) se transfiere por completo a través de la conexión de cortante del alma de la viga, puesto que el ángulo entre la viga y la columna en una conexión tipo FR permanece sin cambios bajo carga, por esta razón puede despreciarse por completo la excentricidad en el diseño de la conexión de cortante.

Si se emplean tornillos para la unión de la placa de patín, una parte del área de la viga se perderá debido a los agujeros de los tornillos, dando una posibilidad de que la capacidad de momento se reduzca. Se puede despreciar la reducción cuando la resistencia a la fractura del patín en tensión de la viga es mayor que la resistencia a fluencia del patín en tensión, de esta manera:

a) Donde $F_u A_{fn} \geq Y_t F_y A_{fg}$ el estado límite de ruptura a la tensión no se aplica. Ec. 4.38

b) Donde $F_u A_{fn} < Y_t F_y A_{fg}$ la resistencia a la flexión nominal, M_n , en la ubicación de los agujeros en el patín de tensión no debe tomarse más de: Ec. 4.39

$$M_n = \phi \frac{F_u A_{fn}}{A_{fg}} S_{xv} \quad \text{Ec. 4.40}$$

Donde:

A_{fn} = Área neta del patín de la viga en tensión, in²

A_{fg} = Área gruesa del patín de la viga en tensión, in²

$$Y_t = 1.0 \text{ para } \frac{F_y}{F_u} \leq 0.8$$

= 1.1 de otra manera.

S_{xv} = Módulo de sección elástico de la viga, in³

Los estados límites que se revisarán en el diseño de conexiones de momento tipo FR con placas de patín son:

- a) Placa de cortante.
 - Resistencia a cortante de tornillos (cortante simple).
 - Resistencia al aplastamiento de tornillos en la placa de cortante.
 - Resistencia al aplastamiento de tornillos en el alma de la viga.
 - Fluencia por cortante de la viga.
 - Ruptura por cortante de la placa.
 - Ruptura por bloque de cortante de la placa.
 - Resistencia de la soldadura que conecta a la placa con la columna.
- b) Placa del patín superior.
 - Resistencia a cortante de los tornillos.
 - Resistencia al aplastamiento de los tornillos en el patín de la viga.
 - Resistencia al aplastamiento de los tornillos en la placa de patín.
 - Fluencia por tensión de la placa de patín.
 - Fractura por tensión de la placa de patín.
 - Ruptura por bloque de cortante del patín de la viga.
 - Ruptura por bloque de cortante de la placa de patín.
 - Resistencia de las soldaduras que conectan a la placa superior con la columna.
- c) Placa de patín inferior.
 - Resistencia como columna de la placa de patín inferior.
- d) Revisión de los estados límites del alma y patines de la columna.

4.4.1.- Estados límites de resistencia

Requisito de resistencia que se deberá de cumplir $\phi R_n > P_{ufp}$

Flexión local del patín.

Se aplica a las fuerzas concentradas simples de tracción y a las fuerzas doblemente concentradas (Ver Figura 4.7b). La resistencia de diseño para el estado límite de flexión local del patín se determina de la siguiente manera:

$$\phi R_n = 6.25 F_{yf} t_f^2 \quad \text{Ec. 4.41}$$

Donde:

$$\phi = 0.90$$

F_{yf} = Esfuerzo mínimo de fluencia del patín, ksi

t_f = Espesor del patín que se encuentre cargado, in

Si la longitud de carga medida a través del patín de la columna es menor a $0.15b_{fc}$, donde b_{fc} , es el ancho del patín de la columna, la flexión local del patín no será crítica y la ecuación 4.38 no es necesario revisarse.

Cuando la fuerza concentrada que debe resistirse se aplica a una distancia del extremo del miembro inferior a $10t_{fc}$, R_n se reducirá en un 50%.

Cuando se requiera, se proporcionará un par de refuerzos transversales. Esto si el espesor del alma de la columna es tal que la resistencia de diseño es menor que la resistencia requerida, se colocarán atiesadores transversales uno a cada lado del alma de la columna, en línea con el patín a tensión o compresión de la viga, ver Figura 4.4, se recomienda que se extiendan a por lo menos la mitad del alma de la columna.

Fluencia local del alma.

Cuando una carga se aplica en el patín de la columna, por el patín de la viga o una placa de unión de patín de viga, la carga será transmitida por el ancho del patín de la viga o placa a la relativamente pequeña alma de la columna. Se considera que se localiza a una distancia k desde la parte exterior del patín.

La resistencia nominal R_n , se determina de la siguiente manera:

- a) Cuando la fuerza concentrada que debe resistirse se aplica a una distancia desde el extremo del miembro que es mayor que su peralte, d .

$$\phi R_n = F_{yw} t_w (5k + l_b) \quad \text{Ec. 4.42}$$

- b) Cuando la fuerza concentrada que debe resistirse se aplica a una distancia desde el extremo del miembro que es menor o igual que el peralte, d .

$$\phi R_n = F_{yw} t_w (2.5k + l_b) \quad \text{Ec. 4.43}$$

Donde:

$$\phi = 1.0$$

F_{yw} = Esfuerzo de fluencia mínima del alma, ksi.

k = Distancia entre la cara exterior del patín de la columna y el pie del filete de la unión del alma del patín, si es un perfil laminado, o la distancia equivalente si es un perfil compuesto, in

l_b = Longitud sobre la cual se aplica la carga concentrada, no menor que k para reacciones en el extremo de la viga, se puede tomar como el espesor de la placa de conexión de patín (t_p) o el espesor del patín de la viga (t_{fv}), que este entregando la fuerza concentrada, in

t_w = Espesor del alma, in

Cuando se requiera, se deberán de proporcionar un par de refuerzos transversales o una placa de refuerzo del alma.

Inestabilidad del alma.

Es aplicable a fuerzas concentradas simples de compresión o el componente de compresión de fuerzas concentradas dobles.

Cuando la fuerza de compresión concentrada se aplica a una distancia desde el extremo del miembro, que es mayor o igual al peralte $d/2$.

$$\phi R_n = 0.80 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \quad \text{Ec. 4.44}$$

Cuando la fuerza de compresión concentrada se aplica a una distancia del extremo del miembro, que es menor a $d/2$.

- Cuando $l_b/d \leq 0.2$

$$\phi R_n = 0.40 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \quad \text{Ec. 4.45}$$

- Cuando $l_b/d > 0.2$

$$\phi R_n = 0.40 t_w^2 \left[1 + \left(\frac{4l_b}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} \quad \text{Ec. 4.46}$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

d = Peralte total nominal de la sección, in

Cuando se requiera de un atiesador transversal, un par de atiesadores transversales o placa de refuerzos del alma se deben extender por lo menos hasta la mitad del peralte del alma

Pandeo del alma por compresión.

Cuando se aplica a un par de fuerzas concentradas simples de compresión o a los componentes de compresión en un par de fuerzas concentradas dobles que actúan en el mismo sentido en ambos patines de un miembro, la resistencia disponible para el estado límite del pandeo local del alma, se determina como:

$$\phi R_n = \frac{24t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} \quad \text{Ec. 4.47}$$

Donde:

$$\phi = 0.90$$

$h = d - k_{des}$; h , es la distancia libre entre los patines menos los filetes o radios de la curva de las uniones alma-patín; es la distancia entre líneas contiguas de sujetadores o la distancia entre patines cuando se usan soldaduras en perfiles armados, in

Cuando un par de fuerzas de compresión concentradas se aplica desde el extremo del miembro a una distancia menor de $d/2$, ϕR_n , debe reducirse en 50%.

Cuando se requiera se deberá proporcionar un atiesador transversal sencillo, un par de atiesadores transversales o una placa de refuerzo que se extienda en todo el peralte del alma.

4.5.- Conexión de momento con placa de extremo extendida

Las conexiones FR con placa de extremo extendida, se perfora y suelda en taller una placa rectangular, de longitud mayor que el peralte de la viga soportada, en el extremo de esta, con el plano de la placa perpendicular al eje longitudinal de la viga. La placa de extremo generalmente se suelda en el taller al alma y a ambos patines de la viga. El atornillado se realiza en campo, para la

unión con la columna con ocho tornillos de alta resistencia. Generalmente la placa se extiende más allá que el patín en tensión de la viga y hay dos filas con dos tornillos cada una de ellas, una fila a cada lado del patín en tensión. Uno de los requisitos para el diseño es que las dos filas superiores de tornillos tengan un espaciamiento igual alrededor del patín en tensión de la viga. La proyección de la placa o la disposición de los tornillos en el lado de compresión de la viga no son críticas en el análisis o en el comportamiento físico de la conexión. A ésta conexión se le conoce como *conexión de momento con placa de extremo extendida no atiesada con cuatro tornillos* (ver Figura 4.5), la capacidad puede estar limitada por la resistencia de los tornillos, de modo que el uso económico estará restringido a menos de la mitad de los perfiles W disponibles en el mercado. La resistencia de este tipo de conexión podrá incrementarse si se usan ocho tornillos. Esto puede lograrse incrementando el número de tornillos por fila a cuatro (*conexión con placa de extremo no atiesada con cuatro tornillos a lo ancho*), o el número de filas a cuatro y atiesada (*conexión con placa de extremo extendida atiesada de ocho tornillos*). Pero no deberán usarse tornillos A490 en la conexión atiesada de ocho tornillos.

Algunas ventajas del uso de conexión de momento con placa de extremo extendida son:

- El uso de estas conexiones produce ahorros en material y facilidad de fabricación.
- Permiten que se manejen menos piezas en campo que otro tipo de conexiones de momento atornillada, reduciendo el tiempo de montaje en campo y los costos de mano de obra.
- Suelen usarse estas conexiones en marcos de dos aguas.
- Se prefieren por sus características de restricción de rotación y por qué no requieren soldadura de campo.

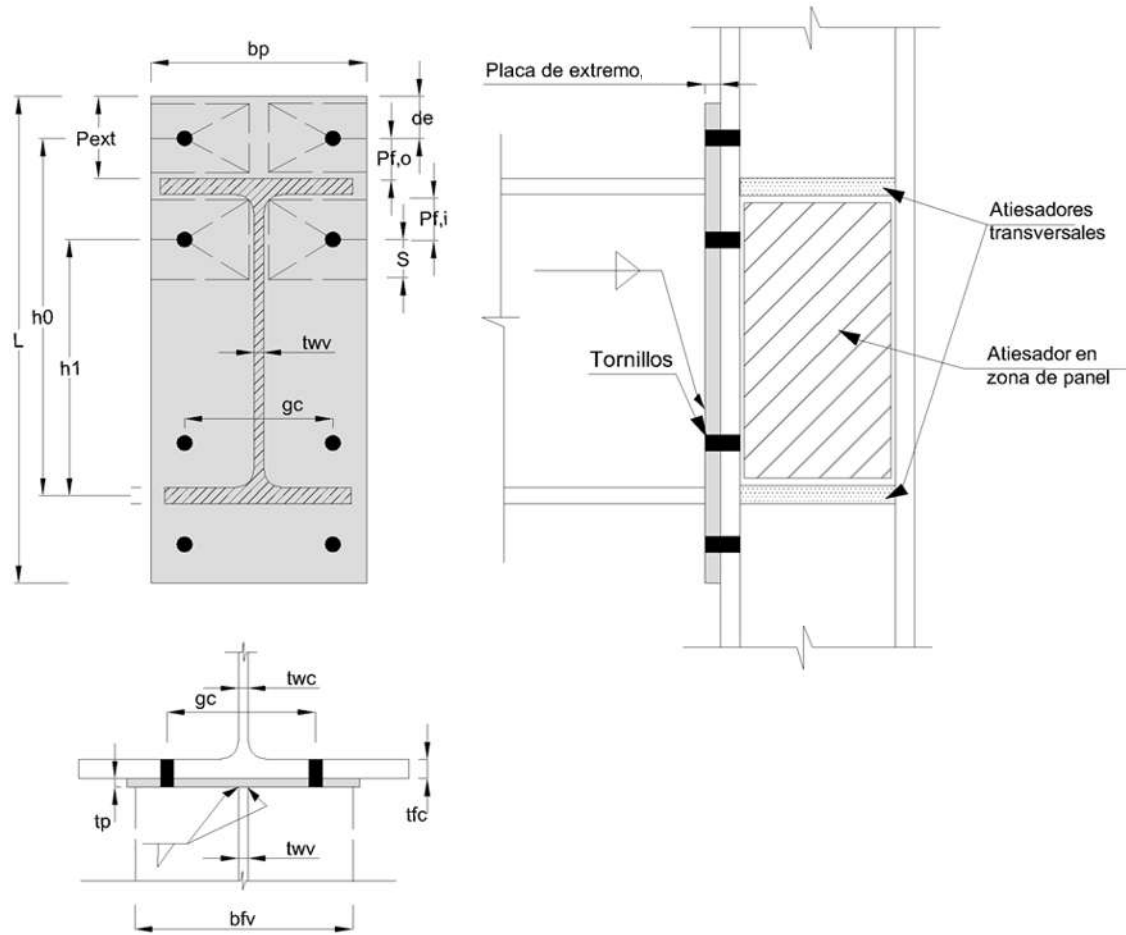


Figura 4. 5 Conexión de momento con placa extendida no atiesada de 4 tornillos.

Sin embargo, la viga tiene que cortarse y fabricarse a la longitud exacta, debido a que hay poco espacio para el ajuste de la longitud en campo durante el montaje. Así las vigas se fabrican un tanto cortas para absorber las tolerancias en las columnas, en ocasiones se necesitarán calzas para tapar cualquier hueco que pueda aparecer.

Cuando el momento flexionante aplicado sea menor que la resistencia de diseño a flexión de la viga, los tornillos y la placa de extremo pueden diseñarse solo para el momento aplicado. La contribución del alma de la viga a la capacidad de momento de la sección de la viga se desprecia, por lo tanto el momento en el extremo de la viga se reemplazará por un par de fuerzas estáticamente equivalentes P_{uf} en los patines de la viga, de esta manera modificando la ecuación 3.23 tenemos.

$$P_{uf} = \frac{12M_u}{(d_v - t_{fv})} \quad \text{Ec. 4.48}$$

Donde:

M_u = Momento de extremo de la viga sujeto a carga factorizada, kips-ft

d_v = Paralte de la viga, in

t_{fv} = Espesor del patín de la viga, in

Los estados límites que se tomaran en cuenta en el diseño de conexiones de momento tipo FR con placas de extremo extendida no atiesada, para la evaluación son:

- Resistencia de los tornillos en la región a tensión de la conexión.
- Resistencia de los tornillos a fuerzas cortantes en el alma de la viga.
- Resistencia de la placa de extremo en flexión.
- Resistencia de las soldaduras entre el patín a tensión de la viga y la placa de extremo.
- Resistencia de las soldaduras del alma de la viga a la placa de extremo.
- Revisión de las necesidades de atiesamiento en la columna

4.5.1.- Conexión de momento con placa de extremo extendida

Las conexiones de momento siguen los procedimientos de la teoría de la *línea de fluencia* para la determinación de la resistencia de la placa de extremo y un método simplificado para determinar las fuerzas en los tornillos. Existen dos procedimientos de diseño, si se desea minimizar el diámetro de los tornillos se utiliza el procedimiento de la *placa gruesa y tornillos de diámetro pequeño*, pero si lo que se desea minimizar es el espesor de la placa se usa el procedimiento de *placa delgada y tornillo de gran diámetro*.

Para el procedimiento con **placa gruesa y tornillos de diámetro pequeño** (ver Figura 4.5) los pasos son los siguientes.

Propiedades de la geometría de la placa de extremo extendida.

b_p = Es el ancho de la placa de extremo, in

g_c = Gramil de la columna, in

$p_{f,i}$ = Distancia de la cara interior del patín de la viga al centro del tornillo interior, in

$p_{f,o}$ = Distancia de la cara exterior del patín de la viga al centro del tornillo exterior, in

$$h_o = d + p_{f,o} - \frac{t_f}{2} \quad \text{Ec. 4.49}$$

$$h_1 = d - p_{f,i} - t_f - \frac{t_f}{2} \quad \text{Ec. 4.50}$$

Calculo del diámetro de los tornillos.

$$d_{Req} = \sqrt{\frac{2M_u}{\pi\phi F_{nt}(h_0 + h_1)}} \quad \text{Ec. 4.51}$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

F_{nt} = Resistencia nominal a la tensión de la Tabla 3.4

h_0, h_1 = Distancia desde la línea central del patín en compresión de la viga a la línea central de cada fila de tornillos.

Para los parámetros del mecanismo de la línea de fluencia y mecánica es:

$$S = \frac{\sqrt{g_c b_p}}{2} \quad \text{Ec. 4.52}$$

Se deberá de cumplir la relación: $p_{f,i} \leq S$ Ec. 4.53

$$Y_p = \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{S} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{f,0}} \right) - 1/2 \right] + \frac{2}{g} h_1 (p_{f,i} + S) \quad \text{Ec. 4.54}$$

$$P_t = F_{nt} \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \quad \text{Ec. 4.55}$$

La resistencia a la flexión disponible en los tornillos es:

$$M_{np} = \phi 2P_t(h_0 + h_1) \quad \phi = 0.75 \quad \text{Ec. 4.56}$$

Espesor requerido de la placa de extremo.

$$t_{p \text{ Req}} = \sqrt{\frac{1.11M_{np}}{\phi_b F_{yp} Y_p}} \quad \text{Ec. 4.57}$$

Donde:

$$\phi_b = 0.9$$

F_{yp} = Esfuerzo de fluencia de la placa de extremo, ksi

Fuerzas en la viga, de la ecuación 4.48 es.

$$P_{uf} = \frac{12M_u}{(d_v - t_{fv})}$$

Cortante por fluencia de la placa de extremo extendida.

La resistencia disponible de cortante por fluencia de la placa de extremo, se determina de la siguiente manera.

$$\phi R_n = \phi 0.6 F_{yp} b_p t_p > \frac{P_{uf}}{2} \quad \phi = 0.9 \quad \text{Ec. 4.58}$$

Ruptura por cortante de la placa de extremo.

$$A_n = [b_p - 2(d + 1/8)] t_p \quad \text{Ec. 4.59}$$

$$\phi R_n = \phi 0.6 F_{up} A_n > \frac{P_{uf}}{2} \quad \phi = 0.75 \quad \text{Ec. 4.60}$$

La resistencia a cortante de los tornillos en la conexión se supone conservadoramente proporcionada por los tornillos en el patín (de compresión), por lo tanto.

$$V_u < \phi R_n = \phi n_b F_{nv} A_t \quad \text{Ec. 4.61}$$

Donde: $\phi = 0.75$

n_b = Número de tornillos en el patín de compresión.

F_{nv} = Resistencia nominal en cortante de los tornillos, ksi

A_t = Área gruesa del tornillo, in²

Resistencia al aplastamiento de los tornillos en la placa de extremo y en el patín de la columna.

Esta revisión se efectuará con la resistencia tipo aplastamiento de la sección 3.1.5 anterior, según sea el caso.

Verificación del patín de la columna para la flexión.

$$t_{fc \text{ Req'd}} = \sqrt{\frac{1.11 \phi M_{np}}{\phi_b F_{yc} Y_c}} \leq t_{fc} \quad \text{Ec. 4.62}$$

Donde: $\phi = 0.9$, g_c es el gramil en la columna

F_{yp} = Esfuerzo de fluencia del patín de la columna, ksi

t_{fc} = Espesor del patín de la columna, in

Y_c = Parámetro de mecanismo de la línea de fluencia del patín de la columna.

Para los patines de la columna no rigidizados:

$$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} t_{fc}^2 Y_c \quad \text{Con: } \phi = \phi_b = 0.9 \quad \text{Ec. 4.63}$$

$$Y_c = \frac{b_{fc}}{2} h_1 \frac{1}{s} + h_0 \frac{1}{s} + \frac{2}{g_c} h_1 S + \frac{3c}{4} + h_0 S + \frac{c}{4} + \frac{c^2}{2} + \frac{gc}{2} \quad \text{Ec. 4.64}$$

Para los patines de la columna rigidizados:

$$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} t_{fc}^2 Y_c \quad \text{Con: } \phi = \phi_b = 0.9 \quad \text{Nota: Si } P_{fi} > s, \text{ use } P_{fi} = s \quad \text{Ec. 4.65}$$

$$Y_c = \frac{b_{fc}}{2} h_1 \frac{1}{s} + \frac{1}{P_{fi}} + h_0 \frac{1}{s} + \frac{1}{P_{f0}} + \frac{2}{g_c} h_1 (s + P_{fi}) + h_0 (s + P_{f0}) \quad \text{Ec. 4.66}$$

Si no se cumple la ecuación 4.62, se deberá aumentar el tamaño de la columna o agregar refuerzos en el alma (placas de continuidad).

Si se agregan refuerzos, se debe verificar la ecuación utilizando Y_c para el patín de la columna de las ecuaciones 4.64 y o 4.66 según sea el caso.

4.5.2.- Estados límites de resistencia

Requisito de resistencia $\phi R_n > P_{uf}$

Fluencia del patín de la columna.

La resistencia de diseño de flexión del patín de la columna es:

$$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} t_{fc}^2 Y_c \quad \text{Ec. 4.67}$$

Por lo tanto, la fuerza de diseño de la columna equivalente es:

$$\phi R_n = \frac{\phi M_{cf}}{(d_v - t_{fv})} \quad \text{Ec. 4.68}$$

Si se requiere refuerzo para la fluencia del patín de la columna, determine la fuerza para el rigidizante requerida.

Fluencia local del alma.

Verifique la resistencia de fluencia local del alma de la columna no rigidizada en los patines de la viga.

$$\phi R_n = \phi C_t (6k_c + N + 2t_p) F_{yc} t_{wc} \quad \text{Ec. 4.69}$$

Donde:

$$\phi = 1.0$$

$C_t = 0.5$, Si la distancia desde la parte superior de la columna a la cara superior del patín de la viga es menor que la profundidad de la columna.

= 1.0 de otra manera.

$k_c = k_{des}$ = Distancia desde la cara exterior del patín de la columna hasta la punta del filete

N = Espesor del patín de la viga más dos veces el tamaño de la soldadura.

t_p = Espesor de la placa

Si no se cumple el requisito de resistencia ($\phi R_n > P_{uf}$), entonces se requiere placas rigidizadoras de alma de columna (placas de continuidad).

Pandeo del alma por compresión.

Verifique la fuerza de pandeo del alma de la columna no rigidizada en el patín de compresión de la viga. Esta ecuación se aplica cuando existen dos vigas conectadas en el mismo nodo, dicho de otra manera, una viga en cada patín de la columna.

Cuando se aplica P_{uf} a una distancia mayor o igual a $d/2$ desde el extremo de la columna.

$$\phi R_n = \frac{\phi 24 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \quad \text{Ec. 4.70}$$

Cuando se aplica P_{uf} a una distancia inferior a $d/2$ desde el extremo de la columna.

$$\phi R_n = \frac{\phi 12 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} \quad \text{Ec. 4.71}$$

Donde:

$$\phi = 1.0$$

h = Distancia libre entre los patines menos el filete o el radio de la esquina para formas enrolladas; distancia libre entre patines cuando se usan soldaduras para dar forma.

Si no se cumple el requisito de resistencia ($\phi R_n > P_{uf}$), entonces se requieren placas rigidizadoras de alma de columna (placas de continuidad).

Inestabilidad del alma.

Verifique el alma de la columna no rigidizada en el patín de compresión de la viga.

Cuando se aplica P_{uf} a una distancia mayor o igual a $d/2$ desde el extremo de la columna.

$$\phi R_n = \phi 0.80 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{fc}}{t_{wc}}} \quad \text{Ec. 4.72}$$

Cuando se aplica P_{uf} a una distancia inferior a $d/2$ desde el extremo de la columna.

- Cuando $N/d \leq 0.2$

$$\phi R_n = \phi 0.40 t_{wc}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d} \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{fc}}{t_{wc}}} \quad \text{Ec. 4.73}$$

- Cuando $N/d > 0.2$

$$\phi R_n = \phi 0.40 t_{wc}^2 \left[1 + \left(\frac{4N}{d} - 0.2 \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yc} t_{fc}}{t_{wc}}} \quad \text{Ec. 4.74}$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

N = Espesor del patín de la viga más dos veces el tamaño de la soldadura.

d = Peralte total de la columna, in

Si no se cumplen los requisitos de resistencia ($\phi R_n > P_{uf}$), entonces se requieren placas rigidizadoras de alma de columna (placas de continuidad).

4.6.- Soldaduras y atiesamiento de la columna

Si se requieren placas rigidizadoras para cualquiera de los estados límites de la columna, la resistencia requerida es:

$$P_{ur} = P_{uf} - P_d \quad \text{Ec. 4.75}$$

Donde $P_d = \min \phi R_n$, es el valor mínimo de resistencia de diseño de los pasos anteriores (Flexión del patín, Fluencia local del alma, Pandeo del alma por compresión e Inestabilidad del alma).

4.6.1.- Soldaduras

Para diseño o revisión de las soldaduras, Se realizará de acuerdo a la sección 3.2.4 anterior. A continuación, se enlistan algunas suposiciones del manual AISC hechas en los procedimientos de las guías de diseño.

- a) Se usarán tornillos de alta resistencia del grupo A o grupo B de diámetros preferentemente no mayores a $1\frac{1}{2}$ in
- b) La tensión de fluencia mínima especificada del material de la placa de extremo deberá ser de 50 ksi o menor.
- c) Cuando se utilizan los procedimientos de la guía de diseño número 16 del AISC, solo se permiten la carga estática (viento, nieve, temperatura).
- d) La distancia mínima recomendada desde la cara del patín de la viga a la línea central del tornillo más cercano es el diámetro del tornillo más media pulgada ($d + \frac{1}{2}$). Sin embargo, muchos fabricantes prefieren utilizar una dimensión de paso (S) estándar de 2 o $2\frac{1}{2}$ in para todos los diámetros de tornillos.
- e) Se asume que toda la fuerza cortante (V_u) en la conexión es resistida por los tornillos ubicados en la zona de compresión. Las placas de extremo no necesitan diseñarse como conexiones de deslizamiento crítico y se observa que rara vez el cortante en la placa es una preocupación de diseño importante de las conexiones de placa de extremo de momento.
- f) El ancho de la placa de extremo (b_p) efectivo para resistir el momento aplicado debe tomarse no mayor que el ancho del patín de la viga (b_{fv}) mas 1 in
- g) El gramal de los tornillos a tensión no deberá exceder el ancho del patín a tensión de la viga.
- h) Cuando se utiliza soldadura CJP, no deben usarse los orificios de acceso de soldadura y soldadura entre los empalmes del alma de la viga, se deberá tratar como una soldadura de penetración parcial de la junta (PJP)
- i) Para conexiones no sísmicas, cuando el momento requerido es menor que la resistencia a la flexión disponible de la viga, la conexión de placa de extremo puede diseñarse para el momento requerido, pero se recomienda que la conexión este diseñada para no menos del 60% de la flexión disponible en la viga.
- j) La soldadura que conecta el alma de la viga con la placa de extremo en los alrededores de los tornillos a tensión se deberán diseñar para desarrollar la resistencia a la fluencia del alma de la viga, a menos que no se requiera la resistencia total de

diseño de la viga, cuando no se requiera la resistencia total de diseño las soldaduras deberán diseñarse para desarrollar el 60% de la resistencia mínima especificada a la fluencia del alma de la viga.

Diseño de la soldadura

A continuación, se enlistan comentarios que se deberán de tomar en cuenta para el diseño de las soldaduras que conecten la viga con la placa de extremo extendida.

- Las soldaduras serán de filete preferentemente o de ranura (CJP), que rodeen por completo el patín de la viga. El tamaño de la soldadura de filete en el patín a tensión debe ser lo más grande posible para desarrollar la fuerza P_{uf} resultante del momento factorizado. El tamaño máximo se puede limitar por cuestiones de economía a $1/2$ in
- La soldadura empleada en el patín a compresión puede ser de tamaño mínimo, de acuerdo con la Tabla 3.4, sin embargo, se puede emplear el mismo tamaño que la proporcionada al patín a tensión para asegura una resistencia igual.
- Las soldaduras al alma de la viga suelen ser de filete diseñadas para coincidir con el espesor del alma. También deberán ser adecuadas para resistir la reacción de la viga, se diseñaran estas cercanas de los tornillos a tensión (una distancia $P_{f,i} + 2d$ de la cara interior del patín a tensión) para que se desarrolle un 60% de la resistencia mínima a la fluencia especificada del alma de la viga. En el caso de soldaduras de filete que usen electrodos E70, se requiere:

$$2(1.392D) \geq 0.6F_{yb}t_{wb} \quad \text{Ec. 4.76}$$

- Solo se considera efectiva la soldadura que une el alma de la viga con la placa de extremo en una distancia L_v para resistir el cortante de extremo de la viga, en donde:

$$L_1 = \frac{d}{2} - t_{fv} \quad L_2 = dv - 2t_{fv} - (P_{f,i} + 2d) \quad \text{Ec. 4.77}$$

$$L_v = \min(L_1, L_2) \quad \text{Ec. 4.78}$$

Donde:

L_1 = Distancia entre el punto medio del peralte de la viga y la cara interna del patín a compresión de la viga, in

L_2 = Distancia entre la fila interna de tornillos a tensión más $2d$ y la cara interna del patín a compresión de la viga, in

d = Diámetro del tornillo, in

dv = Peralte de la viga, in

4.6.2.- Atiesado de columnas para conexiones de momento, Tipo FR

Se deberán de revisar el alma y los patines de las columnas en las conexiones de momento, para asegurar que la carga de tensión o compresión actuante por el momento flexionante no cause daños a la columna y el diseño sea optimo y seguro. Las conexiones de momento se pueden conocer también como *conexiones de fuerzas concentradas dobles*, puesto que existe una en tracción y una en compresión las cuales forman un par en el mismo lado del miembro cargado, cuando dos vigas opuestas coinciden resulta un par de fuerzas concentradas dobles. Si las fuerzas actuantes difieren en su magnitud, se pueden llegar a formar grandes fuerzas de cortante en el alma de la columna dentro de los límites de los patines de esta y donde actúan las fuerzas de los patines de la viga se denomina *zona de panel*, ver Figura 4.6. Los requisitos que cualquier conexión deberá satisfacer, están relacionados con su resistencia, la estabilidad y deformaciones. Se pueden ordenar para miembros restringidos sujetos a fuerzas de patín concentradas, como:

Requisitos de resistencia

Fluencia local del alma

Requisitos de estabilidad

Estabilidad del alma

Pandeo por compresión del alma

Requisitos de deformación

Flexión local del patín

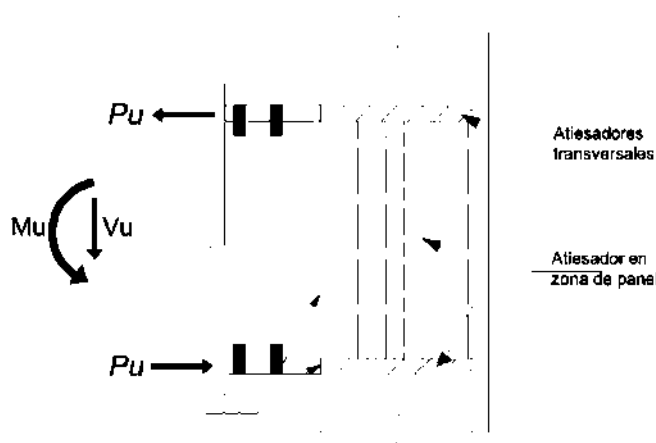


Figura 4. 6 Fuerzas concentradas en la columna y zona de panel.

Cortante en la zona de panel

Cuando hay fuerzas concentradas dobles (Ver Figura 4.7) que actúan en el mismo sitio de uno o ambos patines de un miembro. La resistencia para el estado límite de fluencia por cortante en la zona de panel del alma de la columna, se obtendrá de la siguiente manera.

Cuando no se considera en el análisis el efecto de la deformación del tablero sobre la estabilidad del marco.

$$\begin{aligned} \text{Cuando } P_r &\leq 0.4P_c \\ \phi R_n &= \phi 0.60 F_y d_c t_{wc} \end{aligned} \quad \text{Ec. 4.79}$$

$$\begin{aligned} \text{Cuando } P_r &> 0.4P_c \\ \phi R_n &= \phi 0.60 F_y d_c t_{wc} \left(1.4 - \frac{P_r}{P_c} \right) \end{aligned} \quad \text{Ec. 4.80}$$

Cuando se considera en el análisis de estabilidad del marco, la deformación plástica del tablero, se determina:

Se recomienda consultar la sección J10.6 del manual AISC, ya que en el alcance de esta tesis no se contempla esta sección.

Donde:

A_g = Área de la sección transversal del miembro, in²

ϕ = 0.90

P_r = Resistencia axial requerida, kips

F_y = Esfuerzo de fluencia mínimo especificado, ksi

$P_c = P_y$, donde, $P_y = F_y A_g$, es la resistencia de fluencia de la columna, kips

d_c = Peralte de la columna, in

t_{wc} = Espesor del alma de la columna, in

Si es necesario se deberán proporcionar una placa o placas de refuerzo o un par de atiesadores diagonales dentro de los límites de la conexión (zona de panel).

Requisitos para el diseño de placas de refuerzo bajo fuerzas concentradas

- Las placas de refuerzo que se requieran en el alma para la resistencia a compresión. Se deben diseñar conforme a los requisitos de *diseño de miembros en compresión*.

- Las placas de refuerzo que se requieran para resistir a la tensión, se deberán de diseñar conforme a los requisitos de *diseño de miembros en tensión*.
- Las placas de refuerzo que se requieran para resistir el cortante, se deberán de diseñar conforme a las disposiciones de la parte *cortante en la zona de panel y diseño de miembros a cortante*.

Para estos puntos mencionados se recomienda ver los capítulos E, D y C del manual AISC respectivamente, para más información.

- El espesor y extensión de la placa de refuerzo deberá de proporcionar el material necesario para igualar o exceder los requisitos de resistencia.
- La placa de refuerzo debe soldarse, con un tamaño de soldadura para desarrollar la misma o exceder la proporción de la fuerza total transmitida a esta.

Diseño de atiesadores

Se puede resumir lo siguiente:

- Donde se localice la componente en tensión de fuerzas concentradas dobles, los estados límite de fluencia local del alma y flexión local del patín deberán ser revisados.
- Donde se localice la componente a compresión de fuerza concentradas dobles, los estados límite de fluencia local del alma e inestabilidad del alma deberán ser revisados.
- Donde se localicen las componentes a compresión de un par de fuerzas concentradas dobles, el estado límite de pandeo en el alma deberá ser revisado.
- El estado límite de cortante en la zona de panel deberá ser revisado en todas las conexiones de momento de las conexiones viga-columna.

Si alguna de las resistencias de diseño (P_d) es menor que la carga concentrada factorizada (P_{uf}), se requerirá un refuerzo en la zona de panel. El refuerzo que se proveerá deberá soportar el exceso de fuerzas concentradas en el patín que el alma o el patín de la columna no pueda soportar. Del equilibrio horizontal se tiene:

$$- P_{ur} = P_{uf} - P_d \quad \text{Ec. 4.81}$$

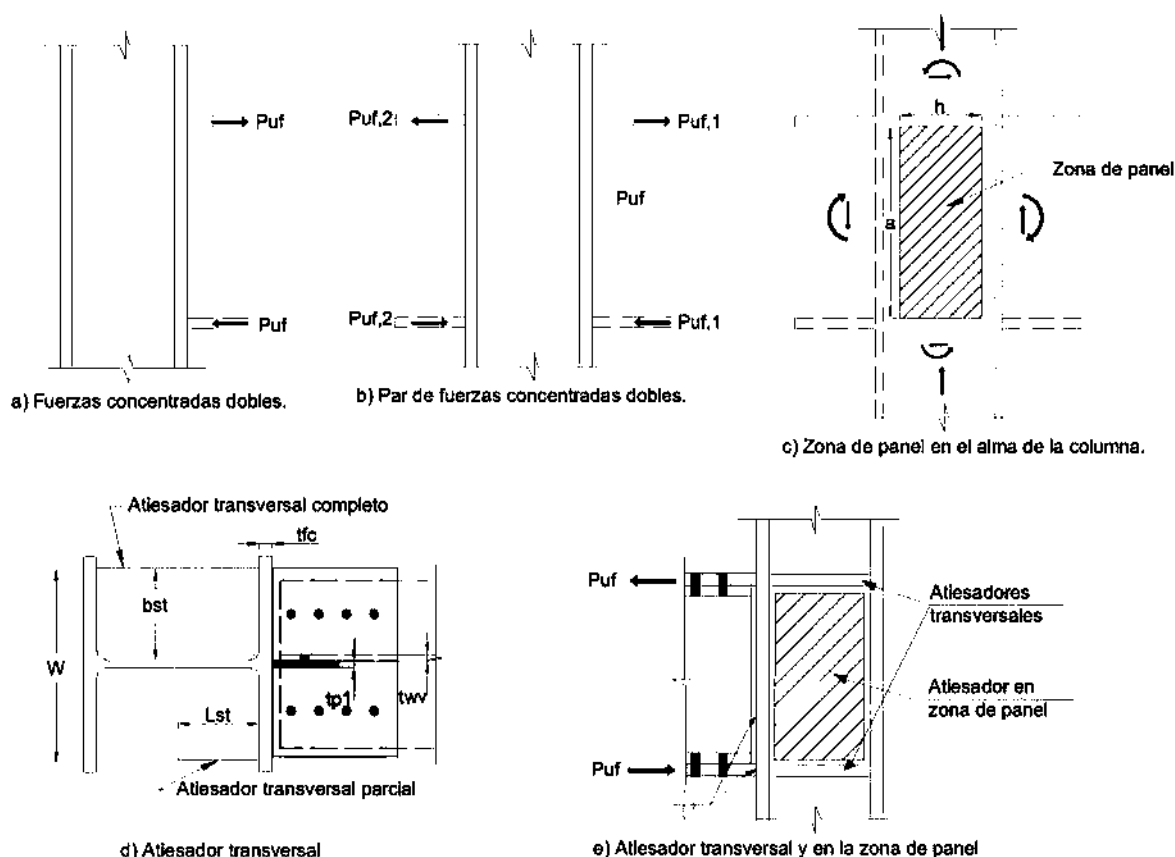


Figura 4. 7 Fuerzas y atiesamiento en la columna.

Donde:

P_{ur} = Resistencia requerida en la zona de panel.

P_{uf} = Carga factorizada concentra, también puede ser P_{ufp} según sea el caso.

P_d = Resistencia de diseño menor de cualquiera de los estados limites (Fluencia local del alma, Pandeo en el alma por compresión, Flexión local del patín e Inestabilidad del alma).

Atiesadores transversales o de continuidad

El área requerida de los atiesadores transversales se obtiene de la siguiente manera:

$$A_{st} \geq \frac{P_{ur}}{F_{d,st}} \quad \text{Ec. 4.82}$$

Donde:

A_{st} = Área del atiesador, in²

P_{ur} = Resistencia requerida de los atiesadores (en la zona de panel).

$F_{d,st}$ = Esfuerzo de diseño en el atiesador.

$$= \phi F_{y,st} = 0.90 F_{y,st} \text{ Para atiesadores en tensión.}$$

$$= \phi F_{cr,st} = 0.85 F_{y,st} \text{ Para atiesadores en compresión.}$$

$F_{y,st}$ = Esfuerzo de fluencia del material de atiesador, ksi

La mayoría de los atiesadores transversales en las columnas se fabrican en acero A36, debido a que la rigidez y la estabilidad, en lugar de la resistencia, gobierna el diseño del atiesador, los siguientes puntos influyen en el diseño de los atiesadores.

- Los atiesadores se colocaran en pares de puntos de concentración de cargas en las columnas cuando la fuerza concentrada en el patín (P_{uf}) excede la resistencia de diseño (fluencia local del alma, pandeo en el alma, flexión local del patín o pandeo del alma por compresión).
- Si la fuerza concentrada (P_{uf}), excede las resistencias de diseño de fluencia local del alma, pandeo del alma o flexión en el patín, los atiesadores no necesitan extenderse más de la mitad de la profundidad del alma de la columna cuando una viga es conectada a un solo patín de la misma (por ejemplo en una columna exterior). Cuando hay vigas conectadas a ambos patines de una columna, opuestas una a la otra y se necesitan atiesadores, el atiesador deberá extenderse continuamente entre los patines de la columna (por ejemplo, en una columna de centro o interior).
- El espesor de un atiesador transversal no será menor que $\frac{t_f}{2}$, donde t_f , es el espesor del patín de la viga o de la placa de patín. El ancho de cada atiesador mas la mitad del espesor del alma de la columna, no deberá ser menor que $\frac{1}{3}$ del ancho del patín o la placa de patín, esto es:

$$t_{st} \geq \frac{t_f}{2}; \quad b_{st} \geq \frac{b_f}{3} - \frac{t_{wc}}{2} \quad \text{Ec. 4.83}$$

- La relación ancho-espesor del atiesador, para prevenir el pandeo local, la relación está limitada por:

Cuando el atiesador y la columna están hechos con el mismo material.

$$\frac{b_{st}}{t_{st}} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{y,st}}} \quad \text{Ec. 4.84}$$

Cuando el atiesador es de acero A36 y las columnas son de acero de alta resistencia, pero mayores a los 36 ksi estos se deformarán de manera inelástica.

$$\frac{b_{st}}{t_{st}} \leq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{y,st}}} \quad \text{Ec. 4.85}$$

Placas de refuerzo en la zona de panel.

Se necesitará reforzar el alma de la columna (zona de panel) cuando no cumple los estados de fluencia local del alma, pandeo por compresión o cortante en la zona de panel. Se puede emplear una placa o un par de placas (una en cada lado del alma de la columna), cuando se requiera una placa más gruesa que el alma de la columna o de $1/4$ in, se deberá considerar el uso de dos placas de menor espesor.

La placa de refuerzo tendrá las dimensiones $t_{dp} \times d_{dp} \times h_{dp}$ y un esfuerzo de fluencia $F_{y,dp}$, el pandeo por cortante no procederá la fluencia por cortante si:

$$\lambda < \lambda_{pv} 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{y,dp}}} \quad \text{Ec. 4.86}$$

Donde:

$$\lambda = \frac{d_{dp}}{t_{dp}} \quad \alpha = \frac{h_{dp}}{d_{dp}} \quad k_v = 5 + \frac{5}{\alpha^2} \quad \text{Ec. 4.87}$$

Soldaduras en los atiesadores transversales de las columnas.

- Cuando se necesitan colocar atiesadores transversales, estos se soldarán en el taller.
- Para resistir fuerzas concentradas, el atiesador deberá ser soldado directamente al patín donde la fuerza de tensión concentrada esta aplicada. La soldadura se diseñara para soportar la resistencia requerida P_{ur} , las soldaduras de filete son preferible, pero también se podrán emplear soldaduras de ranura CJP cuando las fuerzas sean demasiado grandes.
- Es recomendable colocar atiesadores en toda la longitud del patín de la columna, cuando se necesite o el diseño arroje un atiesador de profundidad parcial.

Ejemplo 4.- Conexión totalmente restringida Tipo FR, con placa de patín

Diseñe una conexión de momento FR, entre una viga W18x50 que estará conectada al patín de una columna W14x53. Se emplean placas A36, una en el patín superior, inferior y una de cortante, estarán soldadas al patín de la columna y atornilladas al alma y patines de la viga. La conexión

deberá de soportar un momento (M_u) de 250 kips-ft, un cortante (V_u) de 52 kips y una carga axial de compresión (P_u) en la columna de 300 kips. La soldadura será E70. Los tornillos son A325-N de $\frac{7}{8}$ in de diámetro.

Datos para el cálculo

Acero de placas A36: $F_y = 36$; $F_u = 58$ ksi	Momento (M_u): 250 kips-ft (34.6 ton-m)
Acero de los perfiles A992: $F_y = 50$; $F_u = 65$ ksi	Cortante (V_u): 52 kips (23.6 toneladas)
Tornillos A325-N Grupo A: $F_{nt} = 90$; $F_{uv} = 54$ ksi	Carga axial (P_u): 300 kips
	Electrodos E70: $F_{EXX} = 70$ ksi
Viga W18x50	Columna W14x53
d_v : 18.0 in	A_{gc} : 15.6 in ²
t_{wv} : 0.355 in	d_c : 13.9 in
b_{fv} : 7.5 in	t_{wc} : 0.37 in
t_{fv} : 0.57 in	b_{fc} : 8.06 in
$k_{des\ v}$: 0.972 in	t_{fc} : 0.66 in
T_v : 15 $\frac{1}{2}$ in	$k_{des\ c}$: 1.25 in
g_v : 3 $\frac{1}{2}$ in	T_c : 10 $\frac{7}{8}$ in
I_{xv} : 800 in ⁴	g_c : 5 $\frac{1}{2}$ in
S_{xv} : 88.9 in ³	$\frac{h}{t_{wc}}$: 30.9
Placa de cortante	Placa en patines
L_{ev1} : 1.5 in	L_{ev} : 1.5 in
S_1 : 3.0 in	S : 3.0 in
L_{eh1} : 2.0 in	L_{eh} : 1.5 in
a_1 : 3.0 in	a : 2.0 in

Solución

Resistencia a cortante de los tornillos.

$$R_n = \phi F_u A_t N_s$$

$$R_1 = n R_n$$

Donde:

$$A_t = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (\frac{7}{8})^2}{4} = 0.601 \text{ in}^2$$

$$N_s = 1$$

Esfuerzo de diseño de un tornillo en cortante simple.

$$R_n = \phi F_u A_t N_s = (0.75)(54)(0.601)(1) = 24.34 \text{ kips}$$

Determinación del número de tornillos (N) necesarios para que resistan el cortante último.

$$N = \frac{V_u}{R_n} = \frac{52}{24.34} = 1.72 \approx 2 \rightarrow 3 \text{ tornillos}$$

Rectificaremos la resistencia de los tornillos

$$R_1 = (3)(0.75)(54)(0.601)(1) = \mathbf{73.02 \text{ kips} \geq 52 \text{ kips} \therefore \text{ok}}$$

Geometría de la placa de cortante

$$\text{Longitud } = L = S_1(n-1) + 2 L_{ev1} = 3(3-1) + 2(1 \frac{1}{2}) = 9 \text{ in}$$

$$\text{Base } = b = a + L_{eh1} = 3 + 2 = 5 \text{ in}$$

Calculo de la relación del aspecto de la placa.

La excentricidad a (en este caso a_1) se tomará de 3 in

$$\frac{2a}{L} = \frac{2(3)}{9} = 0.67$$

Tomaremos los datos de la Tabla 4.1 anterior y realizaremos una interpolación para conocer el coeficiente k , como se muestra a continuación.

$2a/L$		k	
x_1	0.5	k_1	6
x	0.67	K	?
x_2	0.75	k_2	2.5

$$k = k_1 + \left[\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \right] (k_2 - k_1)$$

$$k = 6 + \left[\frac{0.67 - 0.5}{0.75 - 0.5} \right] (2.5 - 6) = 3.62$$

Espesor mínimo de la placa, para evitar el pandeo local a flexión.

$$t_{p \min} = \max \left[\frac{L}{234} \sqrt{\frac{F_y}{k}}, 1/4 \text{ in} \right] = \max \left[\frac{9}{234} \sqrt{\frac{36}{3.62}}, 1/4 \right] = \max [0.12, 0.25] \therefore t_{p \min} = 1/4 \text{ in}$$

Espesor máximo de la placa, para dar ductilidad rotacional en la conexión.

$$t_{p \max} = \max \left[\left(\frac{d}{2} + \frac{1}{16} \right), t_{p \min} \right] = \max \left[\left(\frac{7/8}{2} + \frac{1}{16} \right), 1/4 \right] = \max [1/2, 1/4] \therefore t_{p \max} = 1/2 \text{ in}$$

El espesor de la placa deberá de cumplir la relación $t_{p \min} \leq t_{p1} \leq t_{p \max}$ por lo tanto seleccionaremos un espesor de placa (t_{p1}) de $3/8 \text{ in}$ donde:

$$1/4 \leq 3/8 \leq 1/2 \therefore \text{se acepta el espesor de la placa}$$

De acuerdo a lo anterior, para la placa de cortante proporcionaremos una PL $3/8 \times 5 \times 9$ in

Resistencia al aplastamiento de los tornillos en la placa y en el elemento de soporte. Como se consideran las deformaciones en los agujeros de los tornillos (deformaciones ≤ 0.25 in)

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

Tornillos interiores, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

$$\phi 1.2 t l_c F_u$$

Donde:

$$t = t_{p1} = 3/8 \text{ in}$$

$$l_c = l_{ci} = S_1 - (d + 1/16) = 3 - (7/8 + 1/16) = 2.0625 \text{ in}$$

$$\phi 1.2 t l_c F_u = 0.75(1.2)(3/8)(2.063)(58) = 40.38 \text{ kips}$$

Tornillos interiores, para el estado límite de deformación de la placa.

$$R_{di} = \phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4)(3/8)(7/8)(58) = 34.256 \text{ kips} \leftarrow \text{rige}$$

Tornillos extremos, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

$$\phi 1.2 t l_c F_u$$

Donde:

$$L_{ev1} = 1 \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$l_c = l_{ce} = L_{ev1} - \left(\frac{d + 1/16}{2} \right) = 1 \frac{1}{2} - \left(\frac{7/8 + 1/16}{2} \right) = 1.031 \text{ in}$$

$$R_{de} = \phi 1.2 t l_c F_u = 0.75(1.2)(3/8)(1.031)(58) = 20.182 \text{ kips} \leftarrow \text{rige}$$

Tornillos extremos, para el estado límite de deformación de la placa.

$$\phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4)(3/8)(7/8)(58) = 34.256 \text{ kips}$$

Para el alma de la viga, para el estado límite de deformación (deformaciones ≤ 0.25 in).

$$t = t_{wv} = 0.355 \text{ in}$$

$$\phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4)(0.355)\left(\frac{7}{8}\right)(65) = 36.343 \text{ kips}$$

Para la resistencia en la placa.

$$R_2 = [(n-1)R_{di} + R_{de}] = [(3-1)34.256 + 20.182] = 88.694 \text{ kips} \geq \mathbf{52 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Para la resistencia del patín de la columna.

$$R_3 = nR_{nt} = (3)(36.343) = 109.029 \text{ kips} \geq \mathbf{52 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Fluencia por cortante de la placa.

$$R_n = \phi 0.6 F_y A_{gv}$$

Donde:

$$A_{gv} = L t_{p1} = 9\left(\frac{3}{8}\right) = 3.375 \text{ in}^2$$

$$R_n = \phi 0.6 F_y A_{gv} = (1)(0.60)(36)(3.375) = 72.9 \text{ kips} \geq \mathbf{52 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Ruptura por cortante de la placa.

$$R_n = \phi 0.6 F_u A_{nv}$$

Donde:

$$A_{nv} = \left[L - \left(n \left(d + \frac{1}{8} \right) \right) \right] t_{p1} = \left[9 - \left(3 \left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right) \right) \right] \frac{3}{8} = 2.25 \text{ in}^2$$

$$R_n = \phi 0.6 F_u A_{nv} = 0.75 (0.60)(58)(2.25) = 58.73 \text{ kips} \geq \mathbf{52 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Fluencia por cortante del alma de la viga soportada.

En la tabla 9-4 Beam Bearing Constants del Manual AISC, pagina 9-47, para una viga con $F_y = 50 \text{ ksi}$, buscamos la viga W18x50, a continuación la columna $\phi_v V_{nx}$ en la cual se obtiene para el método LRFD un valor de $192 \text{ kips} \geq \mathbf{52 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$

Si se emplean las ecuaciones de la siguiente manera, tendríamos:

$$R_n = \phi 0.6 F_y A_{gv}$$

Donde:

$$A_{gv} = d_v t_{wv} = (18) (0.355) = 6.39 \text{ in}^2$$

$$\phi_v V_{nx} = R_n = \phi 0.6 F_y A_{gv} = (1)(0.60)(50)(6.39) = 191.7 \text{ kips } (\cong 192 \text{ de la Tabla 9-4}) \geq 52 \text{ kips } \therefore \text{ok}$$

Resistencia de los tornillos cargados excéntricamente.

Para un apoyo rígido la excentricidad se calcula como:

$$e_b = |(n - 1) - a| = |(3 - 1) - 3| = 1 \text{ in}$$

Como la excentricidad (e_b) es de 1 in, se desprecia el efecto de la excentricidad, por lo tanto la resistencia se calcula como si los tornillos estuvieran en cortante directo.

Para un tornillo, $R_n = \phi F_u A_t N_s$

Para el grupo de tornillos, $R_1 = n R_n$

$$R_n = \phi F_u A_t N_s = (0.75)(54)(0.601)(1) = 24.34 \text{ kips}$$

$$R_1 = n R_n = 3(24.34) = 73.02 \text{ kips} \geq 52 \text{ kips } \therefore \text{ok}$$

Soldadura en la placa de cortante.

Seleccionaremos t_p como el espesor más pequeño entre la placa de cortante y el patín de la columna (se recomienda seleccionar el espesor de la placa, por ser de resistencia a la fluencia (F_y) menor que el de la columna), después, seleccionaremos el tamaño de la soldadura.

$$t_p = \min [t_{fc}, t_{p1}] \quad t_{p1} = 3/8 \text{ in} \quad t_{fc} = 0.66 \text{ in} \quad \text{Donde: } t_p = 3/8 \text{ in}$$

$w = 5/8 t_p = (5/8)(3/8) = 15/64 = 0.234 \text{ in}$ de esta manera proporcionaremos un espesor de soldadura de $1/4 \text{ in}$

Calculo de la resistencia de la soldadura en cortante directo.

$$R_{na} = F_{nw} A_{we}$$

Donde:

$$F_{nw} = 70 \text{ ksi}$$

$$L_s = L - 2w = 9 - 2(1/4) = 8.5 \text{ in}$$

$$A_{we} = 2(0.707)(w)(L_s) = (2)(0.707)(1/4)(8.5) = 3 \text{ in}^2$$

$$R_{na} = F_{nw} A_{we} = \phi 0.6 F_{nw} A_{we} = 0.75 (0.60)(70) (3) = 94.5 \text{ kips} \geq 52 \text{ kips } \therefore \text{ok}$$

Espesor mínimo del patín de la columna.

$$t_{fc \min} = \frac{3.09D}{F_u} = \frac{3.09(4)}{65} = 0.19 < t_{fc} = 0.66 \text{ in} \therefore \text{ok}$$

Resistencia de la soldadura cargada excéntricamente.

Para un apoyo flexible la excentricidad para la soldadura se calcula como:

$$e_w = e_b + a = 1 + 3 = 4 \text{ in}$$

En la Tabla 8-4 Coeficientes C para grupos de soldadura cargados excéntricamente del manual AISC, página 8-66, con: $\theta = 0^\circ$, $e_x = e_w = 4 \text{ in}$, $l = L_s = 8.5 \text{ in}$, $kl = \frac{3}{8} \text{ in}$ (es el espesor de la placa t_{p1})

$$a = \frac{e_x}{l} = \frac{4}{8.5} = 0.47 \qquad k = \frac{kl}{l} = \frac{3/8}{8.5} = 0.044 \cong 0$$

Entramos a la Tabla 8-4 con los datos anteriores y realizaremos una interpolación para conocer el coeficiente C, como se muestra a continuación.

<i>a</i>		<i>k</i>	
a ₁	0.40	k ₁	2.66
a	0.47	C	?
a ₂	0.50	k ₂	2.30

$$C = k_1 + \left[\frac{a - a_1}{a_2 - a_1} \right] (k_2 - k_1)$$

$$C = 2.66 + \left[\frac{0.47 - 0.4}{0.50 - 0.4} \right] (2.30 - 2.66) = 2.41$$

El coeficiente $C_1 = 1$ de la Tabla 3.6 para electrodos E70, $D = 4$ (tamaño de la soldadura en dieciseisavos de pulgada) y calculamos la resistencia de la soldadura cargada excéntricamente para un apoyo rígido.

$$R_n = \phi C C_1 D l = (0.75)(2.41)(1)(4)(8.5) = 61.46 \text{ kips} \geq \mathbf{52 \text{ kips}} \therefore \text{ok}$$

Resistencia por bloque de cortante en la placa.

$$R_n = 0.60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt} \leq 0.60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}$$

Donde:

$$U_{bs} = 1$$

$$A_{gv} = t_{p1} [L_{ev1} + S1(n-1)] = \frac{3}{8} [1 \frac{1}{2} + 3(3-1)] = 2.81 \text{ in}^2$$

$$A_{nv} = \left[(L_{ev1} + S1(n-1)) - \left[\left(n - \frac{1}{2} \right) \left(d + \frac{1}{8} \right) \right] \right] t_{p1} = \left[(1.5 + 3(3-1)) - \left[\left(3 - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right) \right] \right] \frac{3}{8} = 1.875 \text{ in}^2$$

$$A_{nt} = \left[L_{eh1} - \frac{\left(d + \frac{1}{8} \right)}{2} \right] t_{p1} = \left[2 - \frac{\left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right)}{2} \right] \frac{3}{8} = 0.563 \text{ in}^2$$

$$R_{b1} = \phi [0.60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}] = 0.75 [[(0.6)(58)(1.875)] + [(1)(58)(0.563)]] = 73.428 \text{ kips}$$

$$R_{b2} = \phi [0.60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}] = 0.75 [[(0.6)(36)(2.81)] + [(1)(58)(0.563)]] = 70.013 \text{ kips}$$

$$R_n = \min[R_{b1}, R_{b2}] = \min[73.428, 70.016] = 70.016 \text{ kips} \geq 52 \text{ kips} \therefore \text{ok}$$

Diseño de la placa de patín superior.

Calculo de la fuerza axial aplicada en el patín superior

Donde:

$$M_u = 250 \text{ kips} - ft$$

$$d_{fp} = d_v = 18.0 \text{ in}$$

$$P_{ufp} = \frac{M_u}{d_{fp}} = \frac{12(250)}{18} = 167 \text{ kips}$$

Calculo de los tornillos necesarios en cortante directo.

$$R_n = \phi F_u A_t N_s = (0.75)(54)(0.601)(1) = 24.34 \text{ kips}$$

$$N = \frac{P_{ufp}}{R_n} = \frac{167}{24.34} = 6.9 \approx 7 \text{ tornillos}$$

Como se observa en la Figura 4.4 anterior, los tornillos se acomodarán en dos filas, para el acomodo de los tornillos deberán de ser en pares, debido a esto los tornillos necesarios son 8 ($N = 8$) y 2 filas ($n = 2$). La holgura se proporcionará de $1/2 \text{ in}$ entre el patín de la viga y el de la columna.

Geometría de la placa de patín.

Se colocaran dos filas ($n = 2$) con 4 tornillos ($T_f = 4$) cada una, para acomodar los 8 tornillos (N) necesarios que soporten la carga axial (P_{ufp}) aplicada.

Calculo de la longitud de la placa

$$L = a + L_{eh} + S(T_f - 1) = 2 + 1\frac{1}{2} + 3(4 - 1) = 12\frac{1}{2} \text{ in}$$

Calculo de la base de la placa

$$b_{ps} = g_v + 2Lev = 3\frac{1}{2} + 2(1\frac{1}{2}) = 6\frac{1}{2} \text{ in}$$

Proporcionaremos una placa de $\frac{7}{8} \times 6\frac{1}{2} \times 12\frac{1}{2}$ in, donde el espesor de la placa de patín es $t_p = \frac{7}{8}$ in propuesta, ahora debemos de checar el ancho de la placa, patín de la viga y la columna, para que no se exceda la base de la placa en medidas, con la siguiente relación.

$$b_{fc} \geq b_{ps} \leq b_{fv} \text{ Donde } 8.06 \geq 6\frac{1}{2} \leq 7.5 \therefore \text{ok}$$

Rectificaremos la fuerza axial que se aplica en tensión a la placa del patín, como ya conocemos el espesor de la placa, de la siguiente manera.

$$P_{ufp} = \frac{M_u}{d_{fp} + t_p} = \frac{12(250)}{18 + \frac{7}{8}} = 159 \text{ kips}$$

Revisión de la resistencia de la viga con agujeros.

Calculo de la flexión de la viga, para saber si no se necesita ajustar el área debido a los agujeros en el patín de la viga.

$$F_u A_{fn} \geq Y_t F_y A_{fg}$$

Donde:

$$A_{fg} = b_{fv} t_{fv} = (7.5)(0.57) = 4.275 \text{ in}^2$$

$$A_{fn} = A_{fg} - 2\left(d + \frac{1}{8}\right)t_{fv} = 4.275 - 2\left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8}\right)(0.57) = 3.135 \text{ in}^2$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{50}{65} = 0.769 \leq 0.8 \text{ por lo tanto } Y_t = 1.0$$

$$F_u A_{fn} = (65)(3.135) = 203.78 \text{ kips}$$

$$Y_t F_y A_{fg} = 1.0(50)(4.275) = 213.75 \text{ kips}$$

$F_u A_{fn} < Y_t F_y A_{fg}$ donde $203.78 < 213.75 \text{ kips}$ como no se cumple la igualdad, calculamos la resistencia nominal, en la ubicación de los agujeros en el patín a tensión, la cual no será mayor a:

$$M_n = \phi \frac{F_u A_{fn}}{A_{fg}} S_{xv} = (0.90) \frac{203.78}{4.275} (88.9) = 3813.9 \text{ kip-in} = 317.82 \text{ kip-ft} \geq 250 \text{ kip-ft} \therefore \text{ok}$$

El momento último (M_u) aplicado a la conexión, es resistido por el patín de la viga con agujeros sin ningún problema.

Resistencia a cortante de los tornillos.

Donde:

$N = 8$ tornillos

Esfuerzo de diseño de un tornillo en cortante simple.

$$R_n = \phi F_u A_t N_s = (0.75)(54)(0.601)(1) = 24.34 \text{ kips}$$

Resistencia de los tornillos en la conexión:

$$R_1 = NR_n = 8(24.34) = 192.72 \text{ kips} \geq \mathbf{159 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Resistencia al aplastamiento de los tornillos en la placa y en el elemento de soporte. Como se consideran las deformaciones en los agujeros de los tornillos (deformaciones ≤ 0.25 in)

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

Tornillos interiores, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

$$\phi 1.2 t l_c F_u$$

Donde:

$$t = t_p = 7/8 \text{ in}$$

$$l_c = l_{ci} = S - (d + 1/16) = 3 - (7/8 + 1/16) = 2.0625 \text{ in}$$

$$\phi 1.2 t l_c F_u = 0.75(1.2)(7/8)(2.063)(58) = 94.23 \text{ kips}$$

Tornillos interiores, para el estado límite de deformación de la placa.

$$R_{di} = \phi 2.4 t d F_u = 0.75(2.4)(7/8)(7/8)(58) = 79.93 \text{ kips} \leftarrow \text{rige}$$

Tornillos extremos, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

$$\phi 1.2 t l_c F_u$$

Donde:

$$L_{ev} = 1 \frac{1}{2} in$$

$$l_c = l_{ce} = L_{ev} - \left(\frac{d + 1/16}{2} \right) = 1 \frac{1}{2} - \left(\frac{7/8 + 1/16}{2} \right) = 1.031 in$$

$$R_{de} = \phi 1.2 t l_c F_u = 0.75 (1.2) (7/8) (1.031) (58) = 47.09 kips \leftarrow rige$$

Tornillos extremos, para el estado límite de deformación de la placa.

$$\phi 2.4 t d F_u = 0.75 (2.4) (7/8) (7/8) (58) = 79.93 kips$$

Para el patín de la viga, para el estado límite de deformación (deformaciones $\leq 0.25 in$).

$$t = t_{fv} = 0.57 in$$

$$\phi 2.4 t d F_u = 0.75 (2.4) (0.57) (7/8) (65) = 58.35 kips$$

Para la resistencia en la placa.

$$R_2 = 2[(T_f - 1)R_{di} + R_{de}] = 2[(4-1) 79.93 + 47.09] = 573.76 kips \geq \mathbf{159 kips} \therefore \mathbf{ok}$$

Para la resistencia del patín de la columna.

$$R_3 = N R_{nt} = (8)(58.35) = 466.8 kips \geq \mathbf{167 kips} \therefore \mathbf{ok}$$

Fluencia por tensión de la placa de patín.

$$R_n = \phi F_y A_g$$

Donde:

$$A_g = b_{ps} t_p = 6 \frac{1}{2} (7/8) = 5.688 in^2$$

$$R_n = \phi F_y A_g = (0.9)(36)(5.688) = 184.29 kips \geq \mathbf{159 kips} \therefore \mathbf{ok}$$

Ruptura por tensión de la placa de patín.

$$R_n = \phi F_u A_e$$

Donde:

$$A_n = t_p \left[b_{ps} - \left[2 \left(d + \frac{1}{8} \right) \right] \right] = 7/8 \left[6 \frac{1}{2} - \left[2 \left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right) \right] \right] = 3.938 in^2$$

$$A_e = A_n \leq 0.85 A_g \quad A_e = 3.938 \leq 4.835 \quad \text{Donde:} \quad A_e = 3.938 in^2$$

$$R_n = \phi F_u A_e = 0.75 (58) (3.938) = 171.303 kips \geq \mathbf{167 kips} \therefore \mathbf{ok}$$

Ruptura por bloque de cortante de la placa de patín.

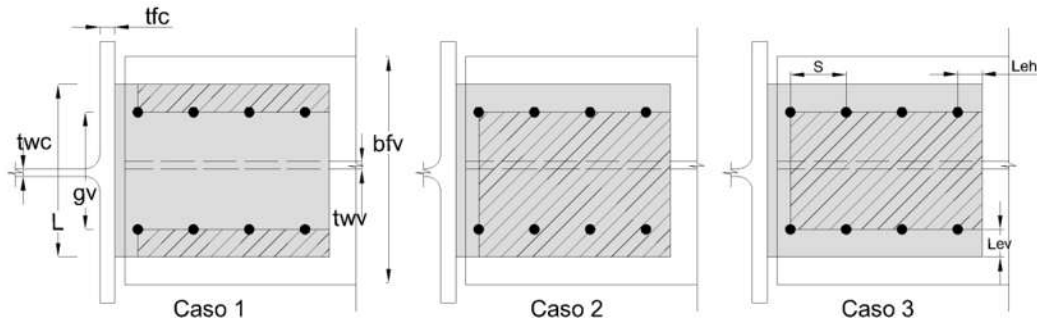


Figura 4. 8 Tres casos de ruptura por bloque de cortante (Modificado de Design examples, versión 14.1, AISC).

Hay tres casos para los cuales se debe verificar la ruptura por bloque de cortante (ver Figura 4.8). El primer caso implica el desgarro de los dos bloques fuera de las dos filas de orificios de los tornillos en la placa de patín. El segundo caso involucra una falla de corte a través de una fila de tornillos y una falla de tracción a través de los dos tornillos más cercanos al patín de la columna. El tercer caso involucra el desgarro del bloque entre las dos filas de orificios en la placa de patín, en tales casos el primero es más crítico que el segundo porque la distancia L_{ev} es más pequeña. Debido a esto para el cálculo de resistencia por bloque de cortante tomaremos los casos 1 y 2 para su análisis como a continuación se detallan.

Caso 1

$$\phi = 0.75 \quad U_{bs} = 1 \quad L_{ev} = 1 \frac{1}{2} \text{ in} \quad L_{eh} = 1 \frac{1}{2} \text{ in} \quad T_f = 4 \text{ tornillos} \quad n = 2 \text{ filas}$$

$$A_{gv} = 2t_p[L_{eh} + S(T_f - 1)] = 2\left(\frac{7}{8}\right)\left[1 \frac{1}{2} + 3(4 - 1)\right] = 18.375 \text{ in}^2$$

$$A_{nv} = 2 \left[(L_{eh} + S(T_f - 1)) - \left[\left(T_f - \frac{1}{2} \right) \left(d + \frac{1}{8} \right) \right] \right] t_p = 2 \left[(1.5 + 3(4 - 1)) - \left[\left(4 - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right) \right] \right] \frac{7}{8} \\ = 12.25 \text{ in}^2$$

$$A_{nt} = 2 \left[L_{ev} - \frac{\left(d + \frac{1}{8} \right)}{2} \right] t_p = 2 \left[1 \frac{1}{2} - \frac{\left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right)}{2} \right] \frac{7}{8} = 1.75 \text{ [in}^2\text{]}$$

$$R_{b1} = \phi [0.60F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}] = 0.75 [(0.6)(58)(12.25) + [(1)(58)(1.75)]] = 395.85 \text{ kips}$$

$$R_{b2} = \phi [0.60F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}] = 0.75 [(0.6)(36)(18.375) + [(1)(58)(1.75)]] = 373.8 \text{ kips}$$

$$R_n = \min[R_{b1}, R_{b2}] = \min[395.85, 373.8] = 373.8 \text{ kips} \geq \mathbf{159 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Caso 2

$$\phi = 0.75 \quad U_{bs} = 1 \quad L_{ev} = 1 \frac{1}{2} \text{ in} \quad L_{eh} = 1 \frac{1}{2} \text{ in} \quad T_f = 4 \text{ tornillos} \quad g_v = 3 \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$A_{gv} = t_p [L_{eh} + S(T_f - 1)] = \left(\frac{7}{8}\right) [1 \frac{1}{2} + 3(4 - 1)] = 9.188 \text{ in}^2$$

$$A_{nv} = \left[(L_{eh} + S(T_f - 1)) - \left[\left(T_f - \frac{1}{2} \right) \left(d + \frac{1}{8} \right) \right] \right] t_p = \left[(1.5 + 3(4 - 1)) - \left[\left(4 - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right) \right] \right] \frac{7}{8} \\ = 6.125 \text{ in}^2$$

$$A_{nt} = \left[(g_v + L_{ev}) - \left(1.5 \left(d + \frac{1}{8} \right) \right) \right] t_p = \left[\left(3 \frac{1}{2} + 1 \frac{1}{2} \right) - \left(1.5 \left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right) \right) \right] \frac{7}{8} = 3.063 \text{ in}^2$$

$$R_{b1} = \phi [0.60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}] = 0.75 [(0.6)(58)(6.125)] + [(1)(58)(3.063)] = 214.8 \text{ kips}$$

$$R_{b2} = \phi [0.60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}] = 0.75 [(0.6)(36)(9.188)] + [(1)(58)(3.063)] = 282.09 \text{ kips}$$

$$R_n = \min[R_{b1}, R_{b2}] = \min[214.8, 282.09] = 214.8 \text{ kips} \geq \mathbf{159 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Ruptura por bloque de cortante del patín de la viga.

Para la ruptura de bloque de cortante rige la forma del Caso 1 de la Figura 4.8 en el patín de la viga, el cual involucra el desgarramiento de los dos bloques fuera de las dos filas de orificios de los tornillos.

Donde:

$$\phi = 0.75 \quad U_{bs} = 1 \quad T_f = 4 \text{ tornillos} \quad t_{fv} = 0.57 \text{ in} \quad \text{holgura} = h_b = \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$F_y = 50 \text{ ksi} \quad F_u = 65 \text{ ksi}$$

$$L_{ev} = \frac{b_{fv} - g_v}{2} = \frac{7.5 - 3.5}{2} = 2 \text{ in}$$

$$L_{eh} = a - h_b = 2 - \frac{1}{2} = 1 \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$A_{gv} = 2 t_{fv} [L_{eh} + S(T_f - 1)] = 2(0.57) [1 \frac{1}{2} + 3(4 - 1)] = 11.97 \text{ in}$$

$$A_{nv} = 2 \left[(L_{eh} + S(T_f - 1)) - \left[\left(T_f - \frac{1}{2} \right) \left(d + \frac{1}{8} \right) \right] \right] t_{fv} = 2 \left[(1.5 + 3(4 - 1)) - \left[\left(4 - \frac{1}{2} \right) \left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right) \right] \right] 0.57 \\ = 7.98 \text{ in}$$

$$A_{nt} = 2 \left[L_{ev} - \frac{(d + \frac{1}{8})}{2} \right] t_{fv} = 2 \left[2 - \frac{(\frac{7}{8} + \frac{1}{8})}{2} \right] (0.57) = 1.71 \text{ in}$$

$$R_{b1} = \phi [0.60 F_u A_{nv} + U_{bs} F_u A_{nt}] = 0.75 [(0.6)(65)(7.98)] + [(1)(65)(1.71)] = 316.778 \text{ kips}$$

$$R_{b2} = \phi [0.60 F_y A_{gv} + U_{bs} F_u A_{nt}] = 0.75 [(0.6)(50)(11.97)] + [(1)(65)(1.71)] = 352.688 \text{ kips}$$

$$R_n = \min[R_{b1}, R_{b2}] = \min[316.778, 352.688] = 316.778 \text{ kips} \geq \mathbf{167 \text{ kips} \therefore ok}$$

Calculo de la soldadura de filete.

Como la carga se aplica de forma perpendicular a la soldadura y los electrodos empleados son de $F_{EXX} = 70 \text{ ksi}$, por lo tanto:

$$\theta = 90^\circ \quad \text{Dirección de la carga} = (1.0 + 0.50 \sin^{1.5} \theta) = 1.0 + 0.50 \sin^{1.5}(90) = 1.5$$

$$D_{min} = \frac{P_{ufp}}{2(1.5)(1.392)L} = \frac{159}{2(1.5)(1.392)(6.5)} = 5.9 \approx 6 \text{ Dieciseisavos de pulgada.}$$

Proporcione un tamaño de soldadura de filete de $\frac{3}{8}$ in, arriba y debajo de la placa de patín superior.

Espesor mínimo del patín de la columna.

$$t_{fc \min} = \frac{3.09D}{F_u} = \frac{3.09(6)}{65} = 0.285 \text{ in} < t_{fc} = 0.66 \text{ in} \therefore \mathbf{ok}$$

Espesor mínimo de la placa de patín de la viga.

$$t_{p \min} = \frac{6.19D}{F_u} = \frac{6.19(6)}{58} = 0.64 \text{ in} < t_p = 0.875 \text{ in} \therefore \mathbf{ok}$$

Diseño de la placa de patín inferior en compresión.

$$\text{Donde:} \quad k = 0.65 \quad L = a = 2 \text{ in} \quad t_p = \frac{7}{8} \text{ in} \quad r = \frac{t_p}{\sqrt{12}}$$

$$\frac{kL}{r} \leq 25 \quad \frac{0.65(2)}{\frac{7/8}{\sqrt{12}}} = 5.15 \leq 25 \therefore \mathbf{ok}$$

Revisión de la resistencia de diseño a compresión de la placa de patín de la viga.

$$P_n = \phi F_y A_g = 0.9(36)(5.688) = 184.29 \text{ kips} \geq \mathbf{159 \text{ kips} \therefore ok}$$

La placa de patín en compresión será idéntica a la placa de patín en tensión, con una geometría de $7/8 \times 6^{1/2} \times 12^{1/2}$ in, con 8 tornillos en dos filas de 4 tornillos, gramil de $3^{1/2}$ in y soldadura de filete E70 de $3/8$ in en la unión del patín de la columna de soporte y la placa, con una base (b_{ps}) de $6^{1/2}$ in.

Nota: la verificación de los estados límites, son los mismos que para la placa en tensión y mediante inspección rápida estas cumplen. También se deberá considerar la tensión resistente debido a la inversión de la carga en el diseño de la soldadura de filete al patín de la columna de soporte.

Revisión de atiesamiento en la columna.

$$\text{Requisito de resistencia } \phi R_n > P_{uf}$$

Flexión local del patín.

Suponiendo que la fuerza concentrada que debe resistirse se aplica a una distancia del extremo del miembro que es mayor a $10t_{fc}$.

$$10t_{fc} = 10(0.66) = 6.6 \text{ in}$$

$$\phi R_n = \phi 6.25 F_{yf} t_f^2 = (0.9)(6.25)(50)(0.66^2) = 122.51 \text{ kips} < \mathbf{159 \text{ kips}} \therefore \text{proporcione atiesador}$$

Fluencia local del alma.

Suponiendo que la fuerza concentrada que debe resistirse se aplica a una distancia del miembro que es mayor que el peralte, d.

$$\text{Con: } l_b = t_p = 7/8 \text{ in} \quad k = k_{desc} = 1.25 \text{ in}$$

$$\phi R_n = \phi F_{yw} t_w (5k + l_b) = 1(50)(0.37) \left((5(1.25)) + (7/8) \right) = 131.81 < \mathbf{159 \text{ kips}} \therefore \text{proporcione atiesador}$$

Inestabilidad del alma.

Si $d_v > d_c$; $18.0 > 13.9$ entonces la fuerza concentrada que debe resistirse se aplica a una distancia desde el extremo del miembro que es mayor o igual que $d/2$.

$$\phi R_n = \phi 0.80 t_w^2 \left[1 + 3 \left(\frac{l_b}{d} \right) \left(\frac{t_w}{t_f} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{yw} t_f}{t_w}} = 0.75(0.80)(0.37)^2 \left[1 + 3 \left(\frac{7/8}{13.9} \right) \left(\frac{0.37}{0.66} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{(29000)(50)(0.66)}{0.37}} = 142.57 \text{ kips} < \mathbf{159 \text{ kips}} \therefore \text{proporcione atiesador}$$

Pandeo del alma por compresión.

Si existen dos vigas conectadas en el mismo nodo (dos vigas opuestas, una en cada patín de la columna) se deberá verificar el pandeo del alma por compresión. Para este ejercicio solo se considera una viga conectada, pero verificaremos como si fueran dos.

$$\text{Con: } \phi = 0.9 \quad \frac{h}{t_w} = 30.9 \Rightarrow h = (30.9)(0.37) = 11.43 \text{ in}$$

$$\phi R_n = \phi \frac{24 t_w^3 \sqrt{E F_{yw}}}{h} = 0.9 \left[\frac{24(0.37)^3 \sqrt{29000(50)}}{11.43} \right] = 115.26 \text{ kips} < \mathbf{159 \text{ kips}} \therefore$$

proporcione atiesador

Adicionalmente estas propiedades de diseño se pueden obtener de la Tabla 4.1 del manual AISC, en donde, para un perfil W14x53 con $F_y = 50 \text{ ksi}$ parte inferior "Propiedades" tenemos:

$$\text{Fluencia local del alma: } \phi R_n = P_{wo} + P_{wi} l_b = 116 + 18.5 \left(\frac{7}{8} \right) = 132.18 \text{ kips}$$

$$\text{Pandeo del alma por compresión: } \phi R_n = P_{wb} = 115 \text{ kips}$$

$$\text{Flexión local del patín: } \phi R_n = P_{fb} = 123 \text{ kips}$$

Donde:

$$\phi = 1 \quad l_b = \frac{7}{8} \text{ in, es el espesor de la placa de patín.}$$

$$P_{wo} = 144 \text{ kips} \quad P_{wi} = 22 \text{ kips/in} \quad P_{wb} = 194 \text{ kips} \quad P_{fb} = 142 \text{ kips}$$

Cortante en la zona de panel.

Los efectos por deformaciones en la zona de panel no se considerarán para la estabilidad del marco, de esta manera tenemos lo siguiente.

$$P_c = F_y A_g = 50(15.6) = 780 \text{ kips} \quad P_r = P_u = 300 \text{ kips}$$

$$P_r \leq 0.4P_c \quad [P_r = 300 \text{ kips}] \leq [0.4P_c = 0.4(780) = 312 \text{ kips}] \quad \text{Por lo tanto.}$$

$$\phi R_n = \phi 0.60 F_y d_c t_{wc} = 0.9(0.6)(50)(13.9)(0.37) = 138.86 \text{ kips} < \mathbf{159 \text{ kips}} \therefore$$

proporcione atiesador

De acuerdo a la revisión de atiesamiento de la columna (flexión local del patín, fluencia local del alma, inestabilidad del alma, pandeo del alma por compresión y cortante en la zona de panel) en los puntos anteriores la columna no cumple con los requisitos de los estados límites, teniendo las siguientes opciones:

- Seleccione una columna más grande.
- Proporcione refuerzo (atiesadores) en la columna.

Elegiremos la opción de proporcionar atiesadores, por lo tanto, se diseñarán los atiesadores de la columna para realizar la conexión.

Diseño de atiesadores horizontales o placas de continuidad.

La resistencia menor de los estados límites calculados anteriormente que rige el diseño de los atiesadores de continuidad es el *pandeo del alma por compresión*, donde: $P_d = 115.26 \text{ kips}$

Área requerida del atiesador:

$$P_{ur} = P_{uf} - P_d \quad A_{st} \geq \frac{P_{ur}}{F_{d,st}} = \frac{159 - 115.26}{0.9(36)} = 1.35 \text{ in}^2$$

Ancho del atiesador:

$$b_{st} \geq \frac{b_{ps}}{3} - \frac{t_{wc}}{2} = \frac{6.5}{3} - \frac{0.37}{2} = 1.98 \approx 3 \text{ in}^2$$

Espesor del atiesador:

$$t_{st} \geq \frac{t_p}{2} = \frac{7/8}{2} = 0.4375 = 7/16 \approx 1/2 \text{ in}$$

Rectificando el área proporcionada:

$$A_{st} = 2(b_{st} - clip)t_{st} = 2(3.0 - 0.37)0.5 = 2.63 > 1.31 \text{ in}^2 \therefore \text{ok}$$

Verificación del pandeo local de la placa de atiesador.

$$\frac{b_{st}}{t_{sc}} = \frac{3.0}{0.5} = 6.0 \leq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{y,st}}} = 0.38 \sqrt{\frac{29000}{36}} = 10.78 \therefore \text{ok}$$

Longitud de la placa rigidizador o placa de continuidad.

Se recomienda que la placa de continuidad se extienda entre los patines de la columna, para una mejor estabilidad de la conexión.

$$L_{st} = d_c - 2t_{fc} = 13.9 - 2(0.66) = 12.8 \text{ in}$$

Diseño de soldaduras.

De la Tabla 3.4, el tamaño mínimo para la soldadura de filete es:

$$\text{Espesor del patín de la columna } (t_{fc}) = 0.66 \text{ in} \rightarrow 1/4 \text{ in} \rightarrow D = 4$$

$$\text{Espesor del alma de la columna } (t_{wc}) = 0.37 \text{ in} \rightarrow 3/16 \text{ in} \rightarrow D = 3$$

$$\text{Espesor de la placa atiesadora } (t_{st}) = 0.5 \text{ in} \rightarrow 3/16 \text{ in} \rightarrow D = 3$$

Longitud de soldadura para unir la placa de refuerzo al patín de la columna.

$$L_w \geq \frac{P_{ur}}{2(1.392)D} = \frac{159 - 115.26}{2(2)(1.392)(4)} = 1.96 \text{ in}$$

Revisión de la longitud de soldadura proporcionada.

$$b_{st} - clip = 4 - 0.37 = 3.63 > 1.96 \text{ in} \therefore \text{ok}$$

Longitud de soldadura para unir la placa de refuerzo al alma de la columna.

$$L_w \geq \frac{P_{ur}}{2(1.392)D} = \frac{159 - 115.26}{2(2)(1.392)(3)} = 2.62 \text{ in}$$

Proporciones 4PL $\frac{1}{2} \times 3 \times 12.8$ in, de continuidad con soldadura de filete de $\frac{1}{4}$ in en todo el contorno de la placa a unir con los patines y el alma de la columna.

Diseño de atiesadores en la zona de panel.

Como la resistencia al cortante del alma ($\phi R_n = 138.86 \text{ kips}$) de la columna W14x53 en la zona de panel, es menor que la fuerza aplicada ($P_{uf} = P_{ufp} = 159 \text{ kips}$) por la placa de patín de la viga. La zona de panel deberá reforzarse con placas en el alma o refuerzo diagonal.

$$V_{ur} = P_{uf} - V_{dz} \qquad V_{ur} = 159 - 138.86 = 20.14 \text{ kips}$$

Donde:

V_{ur} = Fuerza a resistir por los atiesadores, kips

$P_{uf} = P_{ufp}$ = Fuerza aplicada por la placa del patín de la viga, kips

V_{dz} = Fuerza cortante que resiste el alma de la columna, en la zona de panel, kips

Diseño de placas dobles.

Espesor requerido de la placa, en el alma de la columna se determina de la siguiente manera.

$$t_{dp} \geq \frac{V_{ur}}{\phi 0.6 F_{y,dp} h} = \frac{20.14}{0.9(0.6)(36)(11.43)} = 0.09 \approx 0.1875 = \frac{3}{16} \text{ in}$$

$$\text{Con: } \phi = 0.9 \qquad \frac{h}{t_w} = 30.9 \Rightarrow h = (25.9)(0.37) = 11.433 \text{ in}$$

Tamaño requerido de la soldadura de filete, con electrodos E70.

$$D \geq \frac{V_{ur}}{1.392h} = \frac{20.14}{1.392(11.43)} = 1.27 \approx 2 \text{ Dieciseisavos de pulgada.}$$

El tamaño mínimo de la soldadura de filete de la Tabla 3.4 es $\frac{1}{8}$ in ($D = 2$). Por lo tanto, proporcione una soldadura de $\frac{1}{8}$ in y el espesor mínimo de la placa (t_{dp}) para proporcionar esta

soldadura es de $\frac{1}{8} + \frac{1}{16} = \frac{3}{16}$ in, por lo tanto, seleccione una placa (t_{tp}) de $\frac{3}{16}$ in de acero A36 y proporcione soldadura de filete de $\frac{1}{8}$ in

Verificamos el espesor del alma de la columna ($t_{wc} = 0.37$ in) que es mayor al de la placa atiesadora ($t_{tp} = \frac{3}{16}$ in), cuando no se cumpla lo anterior mencionado se recomienda proporcionar dos placas (una a cada lado del alma de la columna) de esta forma para el espesor de las placas (t_{tp}) serán de: $t_{tp} > t_{wc} \geq \frac{t_{tp}}{2}$

$$t_{tp} > t_{wc} \geq \frac{t_{tp}}{2} \quad \text{por lo tanto} \quad \frac{3}{16} > 0.37 > \frac{3/16}{2} \therefore \text{ok}$$

Revisión del pandeo por cortante de la placa.

$$\lambda < \lambda_{pv} 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{y,dp}}}$$

Donde:

$$\frac{h}{t_w} = 30.9 \Rightarrow d_{dp} = (30.9)(0.37) = 11.43 \text{ in}$$

$$a = d_v - t_{fv} - t_{st} = 18 - 0.57 - 0.5 \approx 16.9 \text{ in}$$

$$\alpha = \frac{h_{dp}}{d_{dp}} \rightarrow \frac{a}{h} = \frac{16.9}{11.43} = 1.479$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{\alpha^2} = 5 + \frac{5}{1.479^2} = 7.29$$

$$\lambda = \frac{d_{dp}}{t_{tp}} = \frac{11.43}{3/16} = 60.96$$

$$1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{y,dp}}} = 1.1 \sqrt{\frac{7.29(29000)}{36}} = 76.63$$

$$\lambda = 60.96 < 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{y,dp}}} = 76.63 \therefore \text{ok}$$

Proporciones una PL $\frac{3}{16} \times 11.43 \times 16.9$ in en la zona de panel de la columna, con soldadura de filete de $\frac{1}{8}$ in en todo el contorno de la placa a unir con el alma de la columna.

Ejemplo 5.- Conexión totalmente restringida Tipo FR, con placa de extremo

Diseñe la conexión de momento FR, para una viga W21x57 que se conecta al patín de una columna W14x90, la placa será extendida con 4 tornillos. Un análisis de marco muestra que la conexión debe transferir un momento (M_u) de 350 kips-ft, un cortante (V_u) de 65 kips y una carga axial de compresión (P_u) en la columna de 420 kips. El acero de los perfiles es A992 y acero A36 para la placa de extremo. Use electrodos E70 y tornillos A490-N.

Datos para el cálculo

Acero de placas A36:	$F_y = 36, F_u = 58 \text{ ksi}$	Momento (M_u):	350 kips-ft (48.6 ton-m)
Acero de los perfiles A992:	$F_y = 50, F_u = 65 \text{ ksi}$	Cortante (V_u):	65 kips (29.4 Ton)
Tornillos A490-N Grupo A:	$F_{nt} = 113, F_{uv} = 68 \text{ ksi}$	Carga axial (P_u):	420 kips
		Electrodos E70:	$F_{EXX} = 70 \text{ ksi}$
Viga W21x57		Columna W14x90	
A_{gv} :	16.7 in ²	A_{gc} :	26.5 in ²
d_v :	21.1 in	d_c :	14.0 in
t_{wv} :	0.405 in	t_{wc} :	0.44 in
b_{fv} :	6.56 in	b_{fc} :	14.5 in
t_{fv} :	0.65 in	t_{fc} :	0.71 in
$k_{des v}$:	1.15 in	$k_{des c}$:	1.31 in
T_v :	$18 \frac{3}{8}$ in	T_c :	10 in
g_v :	$3 \frac{1}{2}$ in	g_c :	$5 \frac{1}{2}$ in
I_{xv} :	1170 in ⁴	$\frac{h}{t_{wc}}$:	25.9
S_{xv} :	111 in ²		
Z_{xv} :	129 in ³	Placa de extremo dimensiones primarias.	
		$P_{f,i}$:	1.5 in
		$P_{f,o}$:	1.5 in
		P_{ext} :	4.0 in

Solución

Utilizando el procedimiento de placa gruesa y tornillos de diámetro pequeño se tiene lo siguiente.

Diseño de la placa de extremo extendida.

Dimensiones secundarias.

$$h_0 = d + p_{f,0} - \frac{t_f}{2} = 21.1 + 1.5 - \frac{0.65}{2} = 22.275 \text{ in}$$

$$h_1 = d - p_{f,i} - t_f - \frac{t_f}{2} = 21.1 - 1.5 - 0.65 - \frac{0.65}{2} = 18.625 \text{ in}$$

Calculo del diámetro de los tornillos. Suponiendo que no hay acción de prensado.

$$d_{Req} = \sqrt{\frac{2M_u}{\pi\phi F_{nt}(h_0 + h_1)}} = \sqrt{\frac{2(350 \times 12)}{\pi(0.75)(113)(22.275 + 18.625)}} = 0.878 \approx d = 1 \text{ in}$$

Utilice tornillos de 1 in de diámetro, A490-N en ajuste apretado.

Para los parámetros del mecanismo de la línea de fluencia y mecánica:

Ancho de la placa de extremo; $b_p = b_{fv} + 1 = 6.56 + 1 = 7.56 \approx 8 \text{ in}$

Longitud de la placa de extremo; $L = d_v + 2(P_{ext}) = 21.1 + 2(4) = 29.1 \text{ in}$

$$S = \frac{\sqrt{g_c b_p}}{2} = \frac{\sqrt{(5 \frac{1}{2})(8)}}{2} = 3.32 \text{ in}$$

Se deberá de cumplir la relación: $p_{f,i} \leq S \Rightarrow 1.5 \leq 3.32 \therefore \text{ok}$

$$\begin{aligned} Y_p &= \frac{b_p}{2} \left[h_1 \left(\frac{1}{p_{f,i}} + \frac{1}{S} \right) + h_0 \left(\frac{1}{p_{f,0}} \right) - 1/2 \right] + \frac{2}{g} h_1 (p_{f,i} + S) \\ &= \frac{8}{2} \left[18.625 \left(\frac{1}{1.5} + \frac{1}{3.32} \right) + 22.275 \left(\frac{1}{1.5} \right) - 1/2 \right] + \frac{2}{5 \frac{1}{2}} 18.625 (1.5 + 3.32) \\ &= 162.02 \text{ in} \end{aligned}$$

$$P_t = F_{nt} \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) = 113 \left(\frac{\pi (1)^2}{4} \right) = 88.75 \text{ kips}$$

La resistencia a la flexión disponible en los tornillos es:

$$\phi = 0.75$$

$$\begin{aligned} M_{np} &= \phi 2 P_t (h_0 + h_1) = 0.75(2)(88.75)(22.275 + 18.625) = 5444.81 \text{ kip-in} = 453.73 \text{ kip-ft} \\ &\geq 350 \text{ kip-ft} \therefore \text{ok} \end{aligned}$$

Espesor requerido de la placa de extremo.

$$\phi_b = 0.9 \quad t_{p \text{ Req}} = \sqrt{\frac{1.11 M_{np}}{\phi_b F_{yp} Y_p}} = \sqrt{\frac{1.11(5444.81)}{0.9(36)(162.02)}} = 1.07 \approx t_p = 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

Fuerza requerida aplicada a la placa de extremo a través del patín de la viga.

$$P_{uf} = \frac{12M_u}{(d_v - t_{fv})} = \frac{12(350)}{21.1 - 0.65} = 205.38 \text{ kips}$$

Cortante por fluencia de la placa de extremo extendida.

$$R_n = \phi 0.6 F_{yp} b_p t_p > \frac{P_{uf}}{2}$$

$$R_n = 0.9(0.6)(36)(8.0)(1 \frac{1}{4}) = 194.4 \text{ kips} > \frac{205.38}{2} = 102.69 \text{ kips}$$

$\therefore$ **ok** se acepta el espesor de placa

Ruptura por cortante de la placa de extremo.

$$\phi = 0.75 \quad A_n = [b_p - 2(d + \frac{1}{8})]t_p = [8.0 - 2(1 + \frac{1}{8})]1 \frac{1}{4} = 7.188 \text{ in}^2$$

$$R_n = \phi 0.6 F_{up} A_n > \frac{P_{uf}}{2}$$

$$R_n = \phi 0.6 F_{up} A_n = 0.75(0.6)(58)(7.188) = 187.61 \text{ kips} > 102.69 \text{ kips}$$

$\therefore$ **ok** se acepta el espesor de placa

Resistencia de los tornillos en cortante.

$$V_u < \phi R_n = \phi n_b F_{nv} A_t$$

$$\phi n_b F_{nv} A_t = 0.75(4)(68) \left(\frac{\pi(1)^2}{4} \right) = 160.22 \text{ kips} > V_u = 65 \text{ kips} \therefore \text{ok}$$

Resistencia al aplastamiento de los tornillos en la placa y en el elemento de soporte. Como se consideran las deformaciones en los agujeros de los tornillos (deformaciones ≤ 0.25 in)

Tornillos internos, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

$$t = t_p = 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$p_{f,i} = 1 \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$l_c = l_{ci} = p_{f,i} - \frac{(d + \frac{1}{16})}{2} = 1 \frac{1}{2} - \frac{(1 + \frac{1}{16})}{2} = 0.97 \text{ in}$$

$$R_{di} = \phi 1.2 t l_c F_u = 0.75(1.2)(1.25)(0.97)(58) = 33.29 \text{ kips/tornillo} \leftarrow \text{rige}$$

Tornillos internos, para el estado límite de deformación de la placa.

$$\phi 2.4 t d F_u = 130.05 \text{ kips/tornillo}$$

Tornillos extremos, para el estado límite de desgarramiento por cortante de la placa.

$$P_{ext} = 4.0 \text{ in} \quad P_{f,0} = 1 \frac{1}{2} \text{ in}$$

$$l_c = l_{ce} = P_{ext} - P_{f,0} - \left(\frac{d + 1/16}{2} \right) = 4.0 - 1 \frac{1}{2} - \left(\frac{1 + 1/16}{2} \right) = 1.97 \text{ in}$$

$$R_{de} = \phi 1.2 t l_c F_u = 0.75(1.2)(1 \frac{1}{4})(1.97)(58) = 128.54 \text{ kips/tornillo} \leftarrow \text{rige}$$

Para el patín de la columna, para el estado límite de deformación (deformaciones ≤ 0.25 in).

$$t = t_{fc} = 0.71 \text{ in}$$

$$\phi 2.4 t d F_u = 83.07 \text{ kips/tornillo}$$

Para la resistencia en la placa.

$$R_2 = 2R_{di} + 2R_{de} = 2(63.29) + 2(128.54) = 383.66 \text{ kips} \geq 65 \text{ kips} \therefore \text{ok}$$

Para la resistencia del patín de la columna.

$$R_3 = nR_{nt} = (4)(83.07) = 332.28 \text{ kips} \geq 65 \text{ kips} \therefore \text{ok}$$

Verificación del patín de la columna para la flexión.

$$\phi = 0.9$$

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

$$t_{fc} = 0.71 \text{ in}$$

Para los patines de la columna rigidizados.

Con: $\phi = \phi_b = 0.9$ Nota: Si $P_{fi} > s$, use $P_{fi} = s$

$$Y_c = \frac{b_{fc}}{2} h_1 \frac{1}{s} + \frac{1}{P_{fi}} + h_0 \frac{1}{s} + \frac{1}{P_{f0}} + \frac{2}{g_c} h_1 (s + P_{fi}) + h_0 (s + P_{f0})$$

$$Y_c = \frac{14.5}{2} (18.625) \frac{1}{3.32} + \frac{1}{1.5} + (22.275) \frac{1}{3.32} + \frac{1}{1.5} + \frac{2}{5.5} (18.625)(3.32 + 1.5) + (22.275)(3.32 + 1.5) = 188.72$$

$$t_{fc \text{ Req'd}} = \sqrt{\frac{1.11\phi M_{np}}{\phi_b F_{yc} Y_c}} \leq t_{fc} \quad \sqrt{\frac{1.11(0.9)(5444.81)}{(0.9)(50)(188.72)}} = 0.80 \leq 0.71$$

∴ se requieren atiesadores o incrementar el perfil.

Diseño de soldaduras.

La reacción de extremo (V_u) es resistida por la longitud (L_v) de soldaduras entre la placa de extremo y el alma de la viga, de la siguiente manera:

La distancia media del peralte de la viga y la cara interna del patín a compresión de la viga es:

$$L_1 = \frac{dv}{2} - t_{fv} = \frac{21.1}{2} - 0.65 = 9.9 \approx 10 \text{ in}$$

La distancia entre la fila interna de los tornillos a tensión más dos veces el diámetro del tornillo y la cara interna del patín a compresión de la viga es:

$$L_2 = dv - 2t_{fv} - (pf, i + 2d) = 21.1 - 2(0.65) - (1.5 + 2(1)) = 16.3 \text{ in}$$

Calculo de la longitud de soldadura, L_v :

$L_v = \min(L_1, L_2) = \min(10, 16.3) = 10 \text{ in}$, el tamaño de la soldadura se determina, como:

$$D_{min} = \frac{V_u}{2(1.392)L_v} = \frac{65}{2(1.392)(10)} = 2.33 \approx 3 \rightarrow 0.1875 = \frac{3}{16} \text{ in} \rightarrow D = 3$$

De la Tabla 3.4, el tamaño mínimo de la soldadura de filete es de:

$$\text{Espesor del alma de la viga } (t_{wv}) = 0.405 \text{ in} \rightarrow 0.1875 = \frac{3}{16} \text{ in} \rightarrow D = 3$$

Use soldadura de filete de tamaño $\frac{3}{16}$ in y longitud 10 in, en ambos lados del alma de la viga por debajo de los tornillos en tensión.

Soldadura de filete requerida para unir los patines de la viga a la placa de extremo.

Para el patín superior (en tensión).

$$l = 2(b_{fv}) - t_{wv} = 2(6.56) - 0.405 = 12.715 \text{ in}$$

$$D_{min} = \frac{P_{uf}}{1.5(1.392)l} = \frac{205.38}{1.5(1.392)(12.715)} = 7.74 \approx 8 \text{ Dieciseisavos de pulgada}$$

Use soldadura de filete de $1/2$ in, en el patín de la viga en tensión, en la parte superior e inferior.

Para el patín inferior (en compresión.)

Use una soldadura de filete en el patín a compresión de $1/4$ in, en la parte superior e inferior del patín en compresión (tamaño mínimo en la Tabla 3.4), se recomienda también ser el tamaño de soldadura del patín en tensión para igualar las resistencias de tamaño de $1/2$ in.

Ruptura de los elementos de conexión.

Espesor mínimo del alma de la viga, para unir la placa de extremo (cortante aplicado).

$$t_{wc \min} = \frac{6.19D}{F_u} = \frac{6.19(3)}{65} = 0.29 < t_{wc} = 0.405 \text{ in} \therefore \text{ok}$$

Espesor mínimo de la placa de extremo para unir el alma de la viga (cortante aplicado).

$$t_p \min = \frac{3.09D}{F_u} = \frac{3.09(3)}{58} = 0.16 < t_p = 1 \frac{1}{4} \text{ in} \therefore \text{ok}$$

Espesor mínimo de la placa de extremo, para unir el patín (en tensión) con la viga.

$$t_p \min = \frac{3.09D}{F_u} = \frac{3.09(8)}{58} = 0.43 < t_p = 1 \frac{1}{4} \text{ in} \therefore \text{ok}$$

Revisión de atiesamiento en la columna.

Requisito de resistencia: $\phi R_n > P_{uf}$

$$P_{uf} = \frac{12M_u}{(d_v - t_{fv})} = \frac{12(350)}{21.1 - 0.65} = 205.38 \text{ kips}$$

Flexión local del patín.

$$\phi M_{cf} = \phi_b F_{yc} t_{fc}^2 Y_c = 0.9(50)(0.71^2)(188.72) = 4281.02 \text{ kip-in}$$

Por lo tanto, la fuerza de diseño de columna equivalente es:

$$\phi R_n = \frac{\phi M_{cf}}{(d_v - t_{fv})} = \frac{4281.02}{(21.1 - 0.65)} = 209.34 \text{ kips} > \mathbf{205.38 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Fluencia local del alma.

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

$$\phi = 1.0$$

$$C_t = 1.0$$

$$k_c = k_{des} = 1.31 \text{ de manera conservadora.}$$

$$N = t_{fv} = 0.65 \text{ in}$$

$$t_p = 1 \frac{1}{4} \text{ in}$$

$$\phi R_n = \phi C_t (6k_c + N + 2t_p) F_{yc} t_{wc} = 1(1)[6(1.31) + 0.65 + 2(1.15)](50)(0.44) = 237.82 \text{ kips} \\ > \mathbf{205.38 \text{ kips}} \therefore \mathbf{ok}$$

Pandeo del alma por compresión.

Si existen dos vigas conectadas en el mismo nodo (dos vigas opuestas, una en cada patín de la columna) se deberá verificar el pandeo del alma por compresión. Para este ejercicio solo esta una viga conectada, pero verificaremos como si fueran dos.

$$\phi = 0.9$$

$$\frac{h}{t_w} = 25.9 \Rightarrow h = (25.9)(0.44) = 11.39 \text{ in}$$

Cuando se aplica P_{uf} a una distancia mayor o igual a $d_c/2$ desde el extremo de la columna.

$$\phi R_n = \frac{\phi 24 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} = 0.9 \left[\frac{24(0.44)^3 \sqrt{29000(50)}}{11.39} \right] = 194.52 \text{ kips} > \mathbf{205.38 \text{ kips}}$$

$\therefore$ **se requieren atiesadores**

Cuando se aplica P_{uf} a una distancia inferior a $d_c/2$ desde el extremo de la columna.

$$\phi R_n = \frac{\phi 12 t_{wc}^3 \sqrt{E F_{yc}}}{h} = 0.9 \left[\frac{12 (0.44)^3 \sqrt{29000 (50)}}{11.39} \right] = 97.26 \text{ kips} > \mathbf{205.38 \text{ kips}}$$

$\therefore$ **se requieren atiesadores**

Inestabilidad del alma.

Si $d_v > d_c$; $21.1 > 14.0$ entonces la fuerza concentrada que debe resistirse se aplica a una distancia desde el extremo del miembro que es mayor o igual que $d_c/2$.

$$\phi R_n = \phi 0.80 t_{wc}^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{d_c} \right) \left(\frac{t_{wc}}{t_{fc}} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{E F_{ywc} t_{fc}}{t_{wc}}}$$

Donde:

$$\phi = 0.75$$

$$N = t_{fv} = 0.65 \text{ in}$$

$$d_c = 14.0 \text{ in}$$

$$t_{wc} = 0.44 \text{ in}$$

$$t_{fc} = 0.71 \text{ in}$$

$$\phi R_n = 0.75 (0.80) (0.44^2) \left[1 + 3 \left(\frac{0.65}{14} \right) \left(\frac{0.44}{0.71} \right)^{1.5} \right] \sqrt{\frac{29000 (50) (0.71)}{0.44}} = 189.76 \text{ kips} > \mathbf{205.38 \text{ kips}}$$

$\therefore$ **se requieren atiesadores**

Cortante en la zona de panel.

Los efectos por deformaciones en la zona de panel no se considerarán para la estabilidad del marco, de esto tenemos lo siguiente. Donde:

$$P_c = F_y A_g = 50 (26.5) = 1325 \text{ kips} \quad P_r = P_u = 420 \text{ kips}$$

$$P_r \leq 0.4 P_c \quad [P_r = 420 \text{ kips}] \leq [0.4 P_c = 0.4 (1325) = 530 \text{ kips}] \quad \text{Por lo tanto.}$$

$$\phi R_n = \phi 0.60 F_y d_c t_{wc} = 0.9 (0.6) (50) (14) (0.44) = 166.32 \text{ kips} < \mathbf{205.38 \text{ kips}}$$

$\therefore$ **proporcione atiesador**

De acuerdo a la revisión de atiesamiento de la columna (flexión local del patín, fluencia local del alma, inestabilidad del alma, pandeo del alma por compresión y cortante en la zona de panel) en los puntos anteriores la columna no cumple con los requisitos de los estados límites, teniendo las siguientes opciones:

- Seleccione una columna más grande.
- Proporcione refuerzo (atiesadores) en la columna.

Elegiremos la opción de colocar refuerzos, por lo tanto, se diseñarán los atiesadores de la columna para realizar la conexión como se muestra a continuación.

Atiesamiento de la columna.

Como se requieren placas rigidizadoras para los estados límites de la columna, la resistencia requerida es:

$$F_{su} = P_{uf} - \min \phi R_n$$

Donde $\min \phi R_n$ es el valor mínimo de resistencia de diseño de los pasos anteriores (Flexión del patín, Fluencia local del alma, Pandeo del alma por compresión e inestabilidad del alma) de esto tenemos.

Flexión del patín: $\phi R_n = 209.34 \text{ kips}$

Fluencia local del alma: $\phi R_n = 237.82 \text{ kips}$

Pandeo del alma por compresión: $\phi R_n = 194.52 \text{ kips} \leftarrow R_{ige}$

Cortante en la zona de panel: $\phi R_n = 166.32 \text{ kips}$

Diseño de atiesadores horizontales o placas de continuidad

Área requerida del atiesador:

$$P_{ur} = P_{uf} - P_d \quad A_{st} \geq \frac{P_{ur}}{F_{d,st}} = \frac{205.38 - 194.52}{0.9(36)} = 0.34 \text{ in}^2$$

Ancho del atiesador:

$$b_f = b_p = 8.0 \text{ in}^2$$

$$b_{st} \geq \frac{b_f}{3} - \frac{t_{wc}}{2} = \frac{8.0}{3} - \frac{0.44}{2} = 2.45 \approx 2.5 \text{ in}$$

Espesor del atiesador:

$$t_f = t_{fv} = 0.65 \text{ in}$$

$$t_{st} \geq \frac{t_f}{2} = \frac{0.65}{2} = 0.325 \approx 3/8 \text{ in}$$

Rectificando el área proporcionada:

$$A_{st} = 2(b_{st} - clip)t_{st} = 2(2.5 - 0.5)(0.375) = 1.5 > 0.34 \text{ in}^2 \therefore \text{ok}$$

Diseño de soldaduras.

De la Tabla 3.4, el tamaño mínimo para la soldadura de filete es:

$$\text{Espesor del patín de la columna } (t_{fc}) = 0.71 \text{ in} \quad \rightarrow \quad 1/4 \text{ in} \quad \rightarrow \quad D = 4$$

$$\text{Espesor del alma de la columna } (t_{wc}) = 0.44 \text{ in} \quad \rightarrow \quad 3/16 \text{ in} \quad \rightarrow \quad D = 3$$

$$\text{Espesor de la placa atiesadora } (t_{st}) = 3/8 \text{ in} \quad \rightarrow \quad 3/16 \text{ in} \quad \rightarrow \quad D = 3$$

Longitud de soldadura para unir la placa de refuerzo al patín de la columna.

$$L_w \geq \frac{P_{ur}}{2(1.392)D} = \frac{205.056 - 194.52}{2(2)(1.392)(4)} = 0.47 \text{ in}$$

Revisión de la longitud de soldadura proporcionada.

$$b_{st} - clip = 2.5 - 0.5 = 2.0 \text{ plg} > 0.47 \text{ in} \therefore \text{ok}$$

Longitud de soldadura para unir la placa de refuerzo al alma de la columna.

$$L_w \geq \frac{P_{ur}}{2(1.392)D} = \frac{205.056 - 194.52}{2(2)(1.392)(3)} = 0.63 \text{ in}$$

Verificación del pandeo local de la placa de atiesador.

$$\frac{b_{st}}{t_{st}} = \frac{2.5}{0.375} = 6.67 \leq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_{y,st}}} = 0.38 \sqrt{\frac{29000}{36}} = 10.78 \therefore \text{ok}$$

Proporciones 4 PL $3/8 \times 2 \frac{1}{2} \times 12.6 \text{ in}$ en la zona de panel de la columna, con soldadura de filete de $1/4 \text{ in}$ en todo el contorno de la placa a unir con el alma de la columna.

Diseño de atiesadores en la zona de panel.

Como la resistencia al cortante del alma ($\phi R_n = 166.32 \text{ kips}$) de la columna W14x90 en la zona de panel, es menor que la fuerza aplicada ($P_{uf} = P_{ufp} = 205.38 \text{ kips}$) por la placa de patín de la viga. La zona de panel deberá reforzarse con placas en el alma o refuerzo diagonal.

$$V_{ur} = P_{uf} - V_{dz} \quad V_{ur} = 205.38 - 166.32 = 39.06 \text{ kips}$$

Donde:

V_{ur} = Fuerza a resistir por los atiesadores, kips

P_{uf} = Fuerza aplicada por la placa del patín de la viga, kips

V_{dz} = Fuerza cortante que resiste el alma de la columna, en la zona de panel, kips

Diseño de placas dobles.

Espesor requerido de la placa, en el alma de la columna.

$$t_{dp} \geq \frac{V_{ur}}{\phi 0.6 F_{y,dp} h} = \frac{39.06}{0.9(0.6)(36)(11.39)} = 0.176 \approx 3/16 \text{ in}$$

$$\text{Con: } \phi = 0.9 \quad \frac{h}{t_w} = 25.9 \Rightarrow h = (25.9)(0.44) = 11.39 \text{ in}$$

Tamaño requerido de la soldadura de filete, con electrodos E70.

$$D \geq \frac{V_{ur}}{1.392h} = \frac{39.06}{1.392(11.39)} = 2.46 \approx 3 \text{ En dieciseisavos de pulgada.}$$

El tamaño mínimo de la soldadura de filete de la Tabla 3.4 es $1/8 \text{ in}$ ($D = 2$). Por lo tanto, proporcione una soldadura de $3/16 \text{ in}$ ($D = 3$). El espesor mínimo de la placa (t_{dp}) para proporcionar esta soldadura es de $3/16 + 1/16 = 1/4 \text{ in}$, por lo tanto, seleccione una placa de $1/4 \text{ in}$ de acero A36 y proporcione soldadura de filete de $3/16 \text{ in}$.

Revisión del pandeo por cortante

$$\lambda < \lambda_{pv} 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{y,dp}}}$$

Donde:

$$\frac{h}{t_w} = 25.9 \Rightarrow d_{dp} = (25.9)(0.44) = 11.39 \text{ in}$$

$$a = d_v - t_{fv} - t_{st} = 21.1 - 0.65 - 0.375 \approx 20 \text{ in}$$

$$\alpha = \frac{h_{dp}}{d_{dp}} \rightarrow \frac{a}{h} = \frac{20}{11.39} = 1.756$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{\alpha^2} = 5 + \frac{5}{1.756^2} = 6.62$$

$$\lambda = \frac{d_{dp}}{t_{tp}} = \frac{11.39}{3/8} = 30.37$$

$$1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{y,dp}}} = 1.1 \sqrt{\frac{6.62(29000)}{36}} = 80.33$$

$$\lambda = 30.37 < 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{y,dp}}} = 80.33 \therefore \text{ok}$$

Proporciones una PL $\frac{1}{4} \times 11.39 \times 20$ in, en la zona de panel de la columna, con soldadura de filete de $\frac{3}{16}$ in en todo el contorno de la placa a unir con el alma de la columna.

Capítulo 5.- Software DISCON para diseño de conexiones de acero

En el presente apartado se discuten los pormenores del software cuyo acrónimo es DISCON que significa DISeño de CONexiones, es un software diseñado con el objeto de facilitar y coadyuvar en la enseñanza en las aulas de clases, de tal forma que DISCON permite verificar los resultados y diseños de algunas conexiones resueltas a mano en el aula de clases.

Lenguaje de programación

Es un idioma artificial diseñado para que las computadoras entiendan los procesos que el usuario quiera realizar, por ejemplo, para que un programa entienda cuando queremos escribir una palabra con el teclado, la computadora leerá los datos en código binario o código máquina y puede diferenciar dos estados (dos niveles de voltaje) a estos se le conoce como bits y se representan por los dígitos 0 o 1.

Tipos de programación

Los lenguajes destinados a la arquitectura del hardware se le denominan *lenguajes de bajo nivel*, estos son totalmente dependientes de la computadora, este lenguaje solo se utiliza en una máquina y no se puede migrar o utilizar en otras máquinas. Por ejemplo, el teclado, mouse, cámaras, etc.

Los *lenguajes de alto nivel* son los que se encuentran más cercanos al lenguaje natural que al lenguaje máquina, estos son lenguajes que se pueden migrar de una máquina a otra. El uso de este tipo de lenguaje solo necesita un traductor que entienda el código fuente como las características de la máquina. Por ejemplo, Microsoft Visual Studio, Cobol, Fortran, C, C++. etc.

Microsoft Visual Basic

En 1965 se creó un nuevo lenguaje de alto nivel, cuya finalidad era que las personas que se iniciaban como programadores aprendieran de una manera más interactiva, por esta razón BASIC del acrónimo *Beginner's All purpose, Symbolic Instruction Code* es fácil de usar y aprender. Este lenguaje ha ido evolucionando hasta convertirse en una versión más avanzada llamada *Visual Basic* el cual tiene un ambiente gráfico de desarrollo de aplicaciones enfocado al sistema operativo Microsoft Windows.

La *interfaz gráfica de usuario*, o GUI (por sus siglas en inglés), es la parte del programa y todos los objetos con el que el usuario puede interactuar con ellos, se pueden utilizar imágenes en lugar de texto. Por ejemplo, Windows está basado en una interfaz gráfica de usuario (GUI), mientras que DOS se basa en texto. Visual Basic es un lenguaje de programación orientado a eventos y al entorno integrado de desarrollo (IDE), el cual fue desarrollado por Microsoft que hace uso de componentes de código predefinidos. El entorno de diseño visual permite a los desarrolladores construir o mejorar rápidamente la interfaz gráfica de usuario basados en programas y aplicaciones, la utilización y creación de programas basadas en la interfaz gráfica de usuario (GUI) en Visual Basic es fácil de utilizar y aprender. Cuando ejecutamos Visual Basic se crea un proyecto nuevo con un formulario, el GUI en Visual Basic consta de los elementos como se observa en la Figura 5.1.

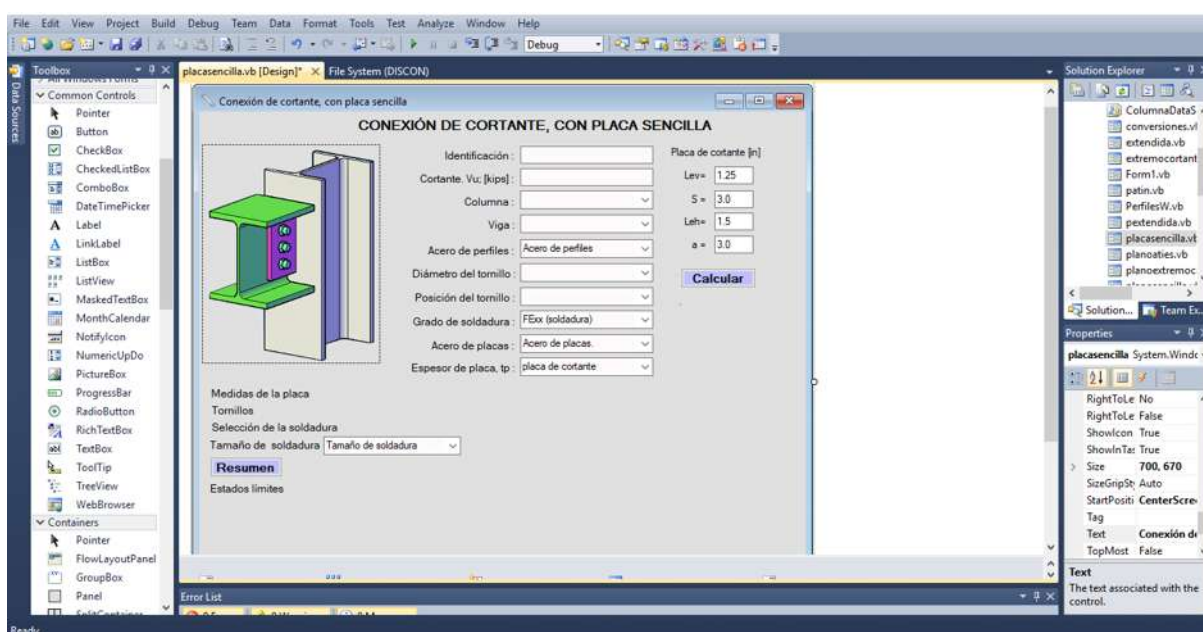


Figura 5. 1 Interfaz gráfica de Microsoft Visual Basic 2010 Express.

En la actualidad existe un gran número de programas con lenguajes de alto nivel y su utilización de cada uno depende de las necesidades del programador, por ejemplo, si se desea crear páginas web, aplicaciones para celulares, programas para computadoras, etc., el programador elegirá en donde trabajara, dependiendo de sus habilidades, conocimiento y si tiene a la mano información acerca de la utilización del programa de su agrado.

La programación de nuestro software DISCON en este trabajo de tesis se desarrolló con Microsoft Visual Basic 2010 Express por su facilidad de aprendizaje y por su entorno de trabajo que permite al programador elegir las acciones libremente de cada elemento a utilizar. Visual Basic está conformado por *objetos* los cuales son controles que forman partes de la aplicación y estos a su vez asocian un conjunto de propiedades, métodos y eventos, por ejemplo; una caja de texto (TextBox), una etiqueta (Label) o un botón (Button), etc. Las *propiedades* con las características específicas que poseen los objetos o formulario. Ejemplo de estos, el color de fondo (BackColor), fuente (Font), imagen de fondo (Backgroundimage), etc. las herramientas más significativas utilizadas para la creación del software se enlistan a continuación en la Tabla 5.1.

Tabla 5. 1 Herramientas de Visual Basic 2010 Express.

Herramientas	Acción
Button	Se crean los botones para calcular los datos en cada sección o procedimiento. Ejemplo, botón <i>Calcular</i>
Combo Box	Muestra una lista desplegable donde podemos seleccionar algún valor deseado. Ejemplo, la lista desplegable de <i>perfiles W</i> .
Label	Se muestra información en tiempo de ejecución o texto descriptivo para un control, Ejemplo, oración <i>Nombre de la conexión</i> .
LinkLabel	Permite realizar hipervínculos o seguimiento, Ejemplo, la dirección <i>http://www.umich.mx</i>
PictureBox	Muestra una imagen en el formulario.
TextBox	Se puede introducir o visualizar texto y números, Ejemplo la casilla donde se introduce el nombre de la conexión.
Group Box	Se puede hacer un grupo de varias etiquetas o controles y darles un nombre, Ejemplo, los datos de la <i>Placa de cortante</i> .
PrintDialog	Muestran cuadros de dialogo en los cuales podemos elegir varias opciones para la impresión.
PrintDocument	Muestra una parte del documento de impresión para su visualización.

Estructura del Software

La estructura general de DISCON se observa en la Figura 5.2.

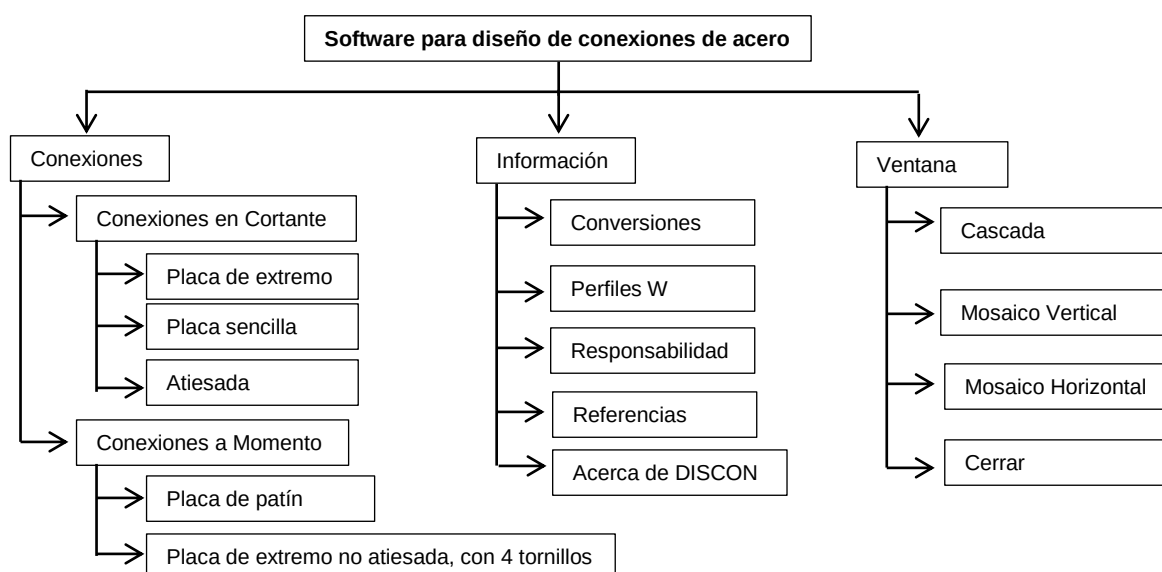


Figura 5. 2 Estructura del Software DISCON

Al elaborar el código fuente de cada subprograma para centralizar las ideas de la organización de entradas y salidas de datos, al igual de los posibles errores y a donde dirigirnos para corregirlos se realizaron diagramas de flujo (ver Figura 5.3) para cada una de las conexiones que se abordan en el Capítulo 4. Para explicar este apartado de los diagramas de flujo solo abordaremos el subprograma *Placa sencilla*, el diagrama de flujo se describe a continuación de manera general, similar a este se realizó para las conexiones de placa de extremo, atiesada, de momento con placas de patín y de extremo extendida.

Cabe mencionar que la finalidad de este trabajo no es de explicar cómo se desarrolló el código para cada una de las conexiones, su ensamble en la ventana principal, métodos de entrada y salida de la información y edición de imágenes o comentarios, debido a esto omitiremos estas explicaciones y solo mostramos lo más básico para que el lector pueda entender el funcionamiento del software DISCON como se mencionó anteriormente.

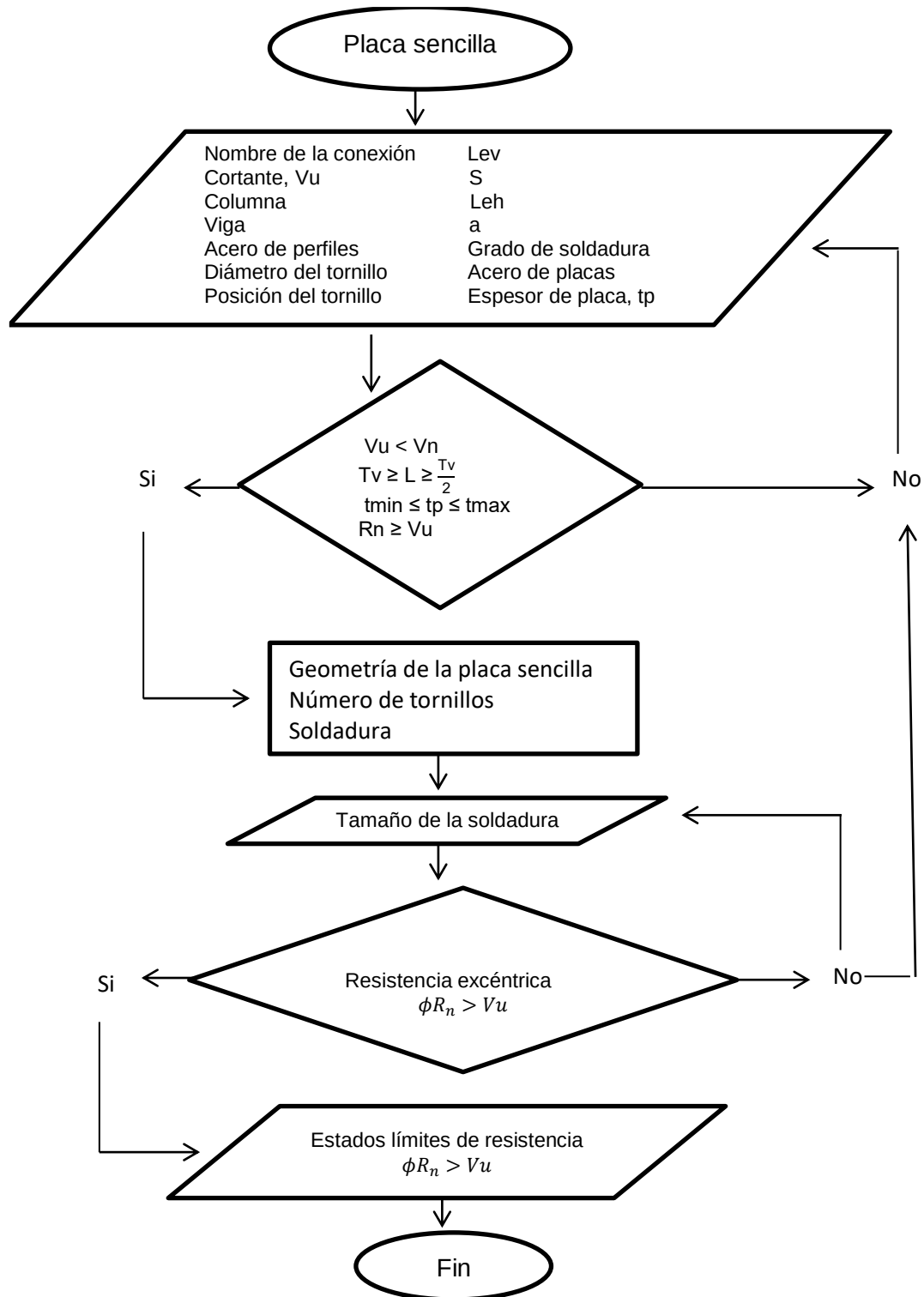


Figura 5. 3 Diagrama de flujo del subprograma Placa sencilla.

5.1.- Entorno de trabajo del Software DISCON

Como se mencionó en el objetivo, la finalidad de este trabajo de tesis, es crear un software de diseño de conexiones en acero llamado DISCON. El usuario puede estar seguro que los resultados que obtendrá al utilizar este software cumplen con los requisitos de diseño aprobados en México, ya que cumple con las especificaciones del manual AISC edición 14 y las guías de diseño versión 4 y 13 del AISC.

En cada subprograma una vez que el usuario introduce y elige los datos de entrada, para el cálculo de tornillos, soldadura, espesor de placa, etc., el programa lo orienta al paso siguiente y en dado caso que no se cumplan las condiciones y especificaciones, el programa muestra una ventana de posibles soluciones las cuales dependerá del usuario llevarlas a cabo o no, si así lo desea.

Especificaciones del programa

DISCON se puede instalar en el sistema operativo Microsoft Windows de 64 bits siendo preferentemente la versión 10 en adelante, si se desean obtener buenos resultados con el programa es necesario que el usuario tenga conocimientos sobre el diseño de conexiones en acero estructural. La plataforma de trabajo de DISCON está en el idioma español y las unidades de trabajo son en sistema inglés.

Organización del programa

El programa tiene como título principal DISCON con una imagen de llave española como icono al lado izquierdo del título, este icono también es el que aparece en la barra de tareas del escritorio de la computadora cuando se ejecuta este programa (ver Figura 5.4). Desde un menú principal en la parte superior tenemos tres submenús denominados Conexiones, Información y Ventana, en el submenú *Conexiones* podemos encontrar dos pestañas para el cálculo de las conexiones a cortante y a momento como se observan en la Figura 5.4. En el segundo submenú *Información* se pueden tener acceso a la pestaña de Conversiones, Perfiles W, Responsabilidad, Referencias y Acerca de DISCON, aquí presentamos datos de interés al usuario como una base de datos de los perfiles W y su concordancia con el manual AISC y el IMCA, de igual forma la referencia básica de las especificaciones, normas y código en las que se basa el software. En la tercer y último submenú *Ventana* podemos encontrar las pestañas de Cascada, Mosaico vertical, Mosaico horizontal y Cerrar, este apartado está enfocado a la forma de organización de las ventanas que

tenemos abiertas dentro del programa DISCON para una visualización más apreciada al trabajar con más de dos ventanas a la vez.



Figura 5. 4 Pantalla principal del software DISCON.

Documentación técnica

Los algoritmos de cálculo que se programaron para cada conexión en específica se tomaron de las especificaciones del AISC y de documentos especializados. Para los subprogramas de las conexiones en cortante siguen en particular el capítulo J del manual AISC edición 14 en el caso de las conexiones a momento se tomó como base el capítulo J del manual AISC edición 14 y las guías de diseño *Stiffening of Wide-Flange columns at Moment Connections: Wind and Seismic applications, Steel Design Guide Series, Num. 13, AISC* y *Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications, Steel Design Guide Series, Num. 4, Second Edition, AISC*. Todas estas especificaciones del manual y guías de diseño se encuentran resumidas en los capítulos 3 y 4 anteriores.

5.2.- Manual de usuario

La utilización del programa es relativamente sencilla debido a que la introducción de los datos son pocos y conforme se avanza en los pasos el mismo programa orienta al paso siguiente. Una vez abierto el programa aparecerá en la pantalla el entorno de trabajo el cual cuenta en la parte superior con un menú principal, ver Figura 5.5.

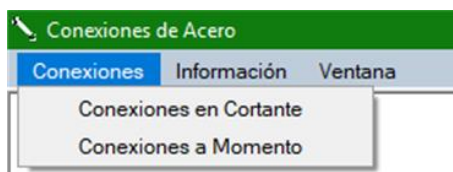


Figura 5. 5 Menús del programa DISCON.

Dando clic sobre la pestaña que deseemos abrir nos desplegará una lista con diferentes opciones de esa pestaña, por ejemplo en la ventana conexiones en cortante una vez abierta y siguiendo esta cadena *Conexiones/Conexiones en Cortante*, nos mostrará la ventana como se observa en la Figura 5.6 en la cual podemos seleccionar entre tres tipos de conexiones a cortante como se muestra en la misma figura; como Placa de extremo, Placa sencilla y Atiesada, cabe señalar que esta última conexión es la única que está unida al alma de la columna y todas las demás se encuentran unidas al patín de la columna.

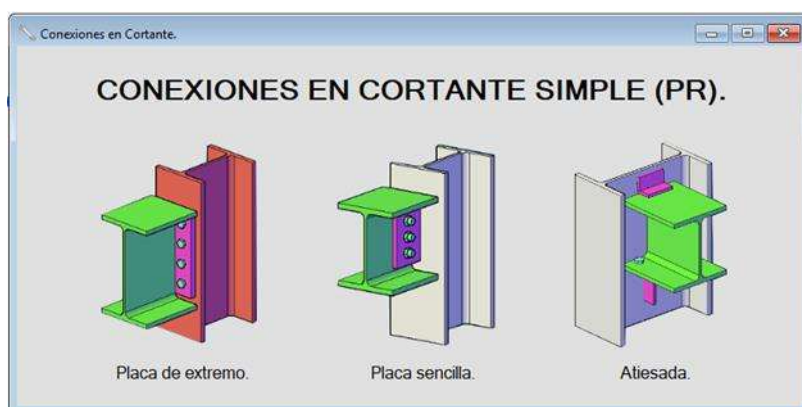


Figura 5. 6 Ventana Conexiones en Cortante.

Para acceder a la nueva ventana donde diseñaremos la conexión deseada, por ejemplo, la *Placa de extremo*, basta con colocar el puntero del ratón sobre la imagen y dar clic izquierdo, el cual abrirá la ventana de diseño de esta conexión como se observa en la Figura 5.7 el cursor aparecerá en automático en la casilla *Identificación de la conexión* y para pasar a otra casilla o botón podemos saltar presionando la tecla Tab el cual moverá de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha el cursor en la ventana activa. Los datos que debemos de introducir son: Identificación de la conexión (ésta es opcional, se puedes introducir números, símbolos y letras): en el siguiente campo *Cortante V_u* , se debe introducir el cortante último que la viga transmitirá a la conexión en kips (ya incluye el factor de carga correspondiente), en los campos correspondientes a la geometría de la placa L_{ev} , S y L_{eh} en sus respectivas casillas, cuando se abre esta ventana en

automático aparecen algunos valores recomendados en pulgadas, los cuales pueden ser modificados según el criterio del diseñador y respetando la reglamentación. Los demás datos se pueden seleccionar de manera automática dando clic en la pestaña de cada casilla y seleccionando de la lista desplegable el valor solicitado (ver Figura 5.8). Cabe recordar que el valor de Cortante (V_u) se introducirá en kips y las distancias de la geometría de la placa en pulgadas y solo se puede introducir números en estas celdas, de lo contrario se generaran errores al ejecutar el programa y se cerrara en automático.

CONEXIÓN DE CORTANTE, CON PLACA DE EXTREMO

Identificación:

Cortante, V_u ; [kips]:

Columna: 44 x 335

Viga: 44 x 335

Acero de perfiles: Acero de perfiles

Diámetro del tornillo: 1/2 (in). Grupo A (A325)

Posición del tornillo: tipo A307

Grado de soldadura: FExx (soldadura)

Acero de placas: Acero de placas.

Espesor de placa, tp: Placa de extremo

Geometría de la placa [in]

Lev: 1.25

S: 3.0

Leh: 1.25

Calcular tornillos

Ir a plano

Figura 5. 7 Ventana Conexión de placa de extremo, en cortante.

CONEXIÓN DE CORTANTE, CON PLACA DE EXTREMO

Identificación: 5.2 - Manual de usuario

Cortante, V_u ; [kips]: 140

Columna: 21 x 68

Viga: 21 x 62

Acero de perfiles: 21 x 55

Diámetro del tornillo: 1/2

Posición del tornillo: 18 x 311

Grado de soldadura: 18 x 258

Acero de placas: 18 x 211

Espesor de placa, tp: 18 x 158

Geometría de la placa [in]

Lev: 1.25

S: 3.0

Leh: 1.25

Calcular tornillos

Figura 5. 8 Entrada de datos en listas desplegables.

Dentro del desarrollo de los cálculos en DISCON nos mostraran ventanas de información y procedimientos en pantalla de los datos que se estén calculando, para esto se utilizan literales para abreviar datos de entrada o salida de la información como se muestran en la Tabla 5.2, una manera de identificación rápida al referirnos a una viga o columna, por ejemplo; el ancho del patín de la columna (bfc) la última letra es una “c” de columna, ahora si nos referimos a una viga, cambiara a la letra “v” de viga. Una manera más clara de entender las literales es ir a los planos de cada conexión en las cuales se representan de una manera gráfica.

Tabla 5. 2 Literales usadas en los subprogramas de DISCON.

Literal	Significado
Ast	Área del atiesador.
a, a1	Excentricidad en la conexión, del patín exterior al centro de los agujeros.
bp	Ancho de la placa.
bf	Ancho del patín de la columna (bfc) o viga (bfv).
bst	Ancho del atiesador transversal.
d	Diámetro del tornillo.
de	Distancia vertical, del centro del agujero al borde de la placa.
g	Gramil de la viga (gv) o columna (gc).
h0, h1	Distancia desde la línea central del patín en compresión de la viga a la línea central de cada fila de tornillos.
L, L1	Longitud de la placa.
Lev, Lev1	Distancia al borde lateral, es la distancia vertical.
Leh, Leh1	Distancia al borde, distancia horizontal.
Lci	Distancia libre entre bordes de tornillos (tornillos internos).
Lce	Distancia libre del borde del agujero al borde del miembro.
Mu	Momento ultimo aplicado en la conexión, en kips-ft.
N	Longitud del apoyo de la viga con la placa de soporte, en la conexión atiesada.
Pext	Distancia exterior del patín de la viga al borde de la placa de extremo.
Pf,0	Distancia exterior del patín de la viga al centro de tornillo exterior.
Pf,i	Distancia interior del patín de la viga al centro de tornillo interior.
Pu	Carga axial, aplicada en la columna, en kips.
S, S1	Paso, distancia centro a centro en dos tornillos consecutivos (verticales o horizontales).
tf	Espesor del patín de la columna (tfc) o la viga (tfv).
tp, tpa, tp1	Espesor de la placa.
tst	Espesor del atiesador transversal.
tw	Espesor del alma de la columna (twc) o viga (twv).
Vu	Cortante ultimo aplicado en la viga de la conexión, en kips.
w	Espesor de la soldadura de filete.

Nota: no todas las literales las veremos en un subprograma, solo veremos las que el subprograma utilice para el diseño de la conexión.

Una vez seleccionado o introducido todos los valores adecuados para la conexión, daremos clic en el botón *Calcular tornillos* y nos mostrara el número de tornillos, la longitud de la placa (L) y un tamaño de soldadura que sea compatible con los espesores de la placa y perfil de la viga como se muestra en la siguiente figura.

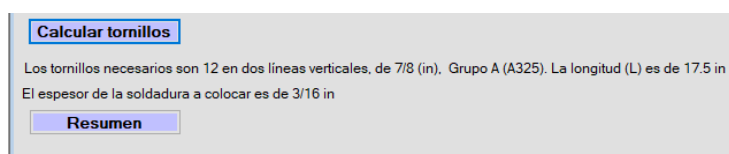


Figura 5. 9 Datos en ventana y ayudas de diseño.

A continuación, daremos clic en el botón *Resumen* este iniciará el diseño considerando los estados límites de resistencia de los elementos de la conexión y de ser correctos los datos introducidos nos mostrará los resultados de los estados límites de resistencia, las medidas de la placa, tornillos necesarios y soldadura, como se observa a continuación en la figura 5.10.



Figura 5. 10 Salida de datos en pantalla.

Mensajes de error

El programa está diseñado de tal forma que el usuario tiene la libertad de elegir en tomar o no las recomendaciones que en cada paso del diseño sugiere el programa, por ejemplo en la Figura 5.9 podemos observar que para el tamaño de soldadura mínima necesaria para unir el alma de la viga con la placa de extremo es de 3/16 de pulgada esta es siguiendo las recomendaciones de diseño del AISC, así como los apartados de elementos de unión y soldadura del manual AISC, en la casilla *Tamaño de soldadura* podemos elegir el tamaño que recomienda (de 3/16) o cualquier otro tamaño. Cabe recordar que si el tamaño seleccionado no cumple con las especificaciones el programa desplegará una ventana mostrando un mensaje del error y la posible solución; por ejemplo, si seleccionamos una soldadura de 1/8 de pulgada (menor a la recomendada) y damos

clic en el botón *Resumen* nos mostrara la ventana de la Figura 5.11a con sus recomendaciones para solucionar el error, de igual forma si seleccionamos una soldadura de 1/4 de pulgada (mayor a la recomendada) y damos clic en el botón *Resumen*, nos mostrar la ventana de la Figura 5.11b.

Cuando algún dato no cumpla con las especificaciones del AISC nos mostrará una ventana como la Figura 5.11, en donde indica los valores calculados y muestra en donde está el error y da algunas ayudas de cómo solucionar este error. Por lo que es necesario revisar la parte que hace referencia estas ventanas y corregir los datos que introducimos o seleccionamos de las listas desplegables, de lo contrario estaremos generando errores en el diseño de la conexión.

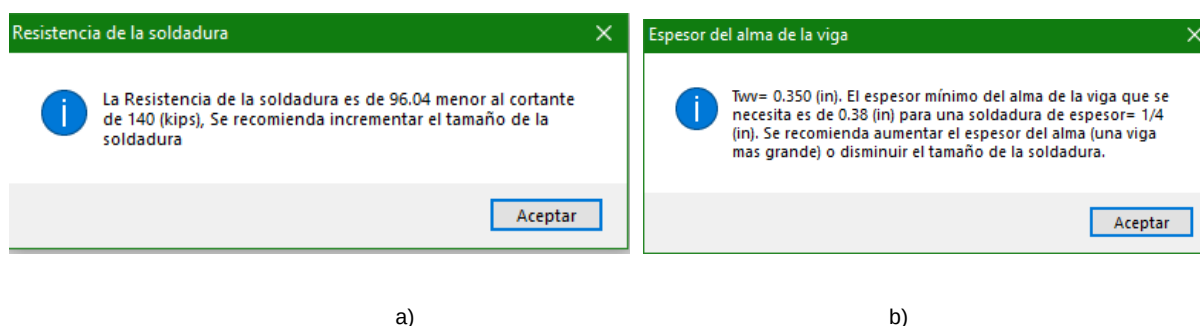


Figura 5. 11 Ventanas de información.

Impresión de los resultados

Cuando damos clic en el botón *Resumen*, activa los botones de *Imprimir* e *Ir a plano*, en el primer botón activa una ventana denominada *Vista previa de impresión* en el cual mostrara: Los datos para el cálculo de la conexión, la geometría de la placa, la soldadura a utilizar y su geometría, los tornillos necesarios y su configuración, la hora y fecha del cálculo (ver Figura 5.12) de esta ventana podemos imprimir o guardar los resultados en formato PDF.

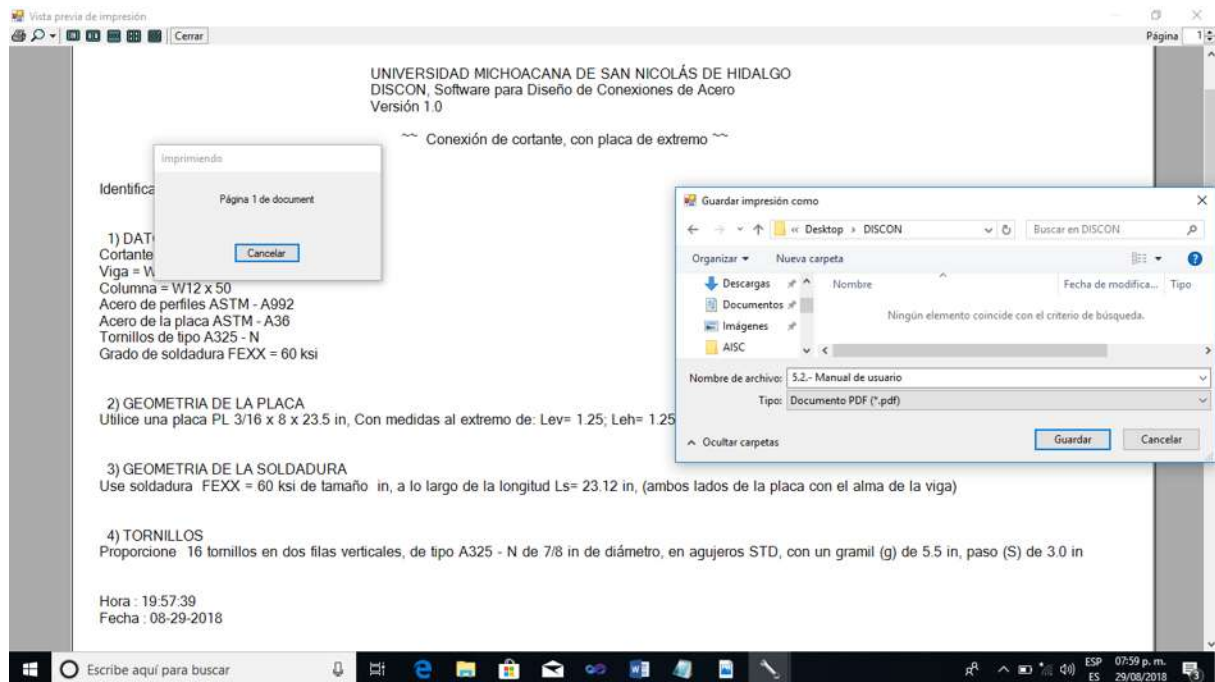


Figura 5. 12 Vista previa de impresión de los datos calculados.

Imprimir o visualizar el plano de la conexión

Al accionar el botón *Ir a plano* en la parte inferior de la ventana, se abrirá una nueva ventana donde se visualiza el plano de la conexión y oprimiendo el botón *Imprimir plano* permite imprimir o guardar en formato PDF el plano, como se muestra en la Figura 5.13.

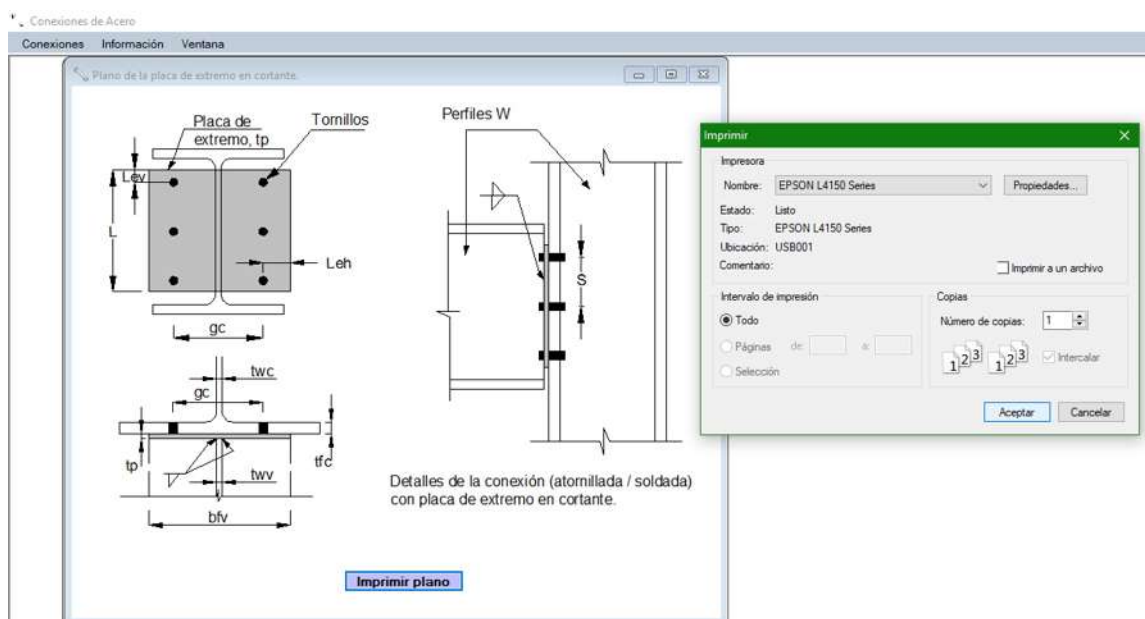


Figura 5. 13 Imprimir o visualizar el plano.

Nuevo calculo

Si se requiere realizar un nuevo cálculo basta con dar clic en el botón *Nuevo cálculo* el cual restablecerá la ventana con los valores de inicio y se podrá iniciar el nuevo cálculo. Para diseñar alguna otra conexión diferente a esta, el procedimiento es similar al descrito anteriormente y depende del tipo de conexión, por ejemplo, si se diseñan conexiones a momento y en el caso de que la columna no resista la fuerza axial presentada, se tendrán que diseñar atiesadores, para ello el programa nos muestra ayudas y recomendaciones en cada etapa del diseño.

Recomendaciones

Para diseñar una conexión se debe conocer o tener conocimiento de las especificaciones mínimas para la conexión en específica a realizar, para ello el programa como se ha mencionado tiene ayudas y recomendaciones en cada paso, si desde los datos iniciales que se introduzcan son erróneos, evidentemente el resultado no será confiable. Es responsabilidad del usuario de la información que introduzca al programa.

Las especificaciones del AISC permiten el uso de cualquier tipo de acero estructural, pero las tablas de diseño del manual AISC para algunas conexiones están tabuladas con placas con un F_y de 36 o 50 ksi y perfiles de sección W con un F_y de 50 ksi. Para esto se debe tener en cuenta los diferentes requisitos de las especificaciones para las conexiones como el tipo de acero, secciones de perfiles compatibles con la conexión a diseñar, tipos de soldaduras, tipos de tornillos, etc.

El programa orienta al usuario en el diseño, sin embargo, el usuario debe de tener conocimiento en el área de diseño de estructuras de acero y él será el responsable de los resultados que se obtengan con el programa DISCON.

5.3.- Ejemplos de aplicación

En este capítulo realizaremos el diseño de las conexiones con el programa DISCON que se realizaron manualmente en el Capítulo 4. En los siguientes ejemplos describiremos de manera particular los datos a introducir en cada casilla, como seleccionar datos del programa y los pasos que se siguen para el diseño de la conexión que se esté trabajando. De igual manera abordaremos brevemente las especificaciones del manual AISC, guías de diseño del AISC y describiremos porque algunos valores obtenidos con el programa no coinciden con los obtenidos manualmente con el uso de las ecuaciones y descritos en el Capítulo 4.

5.3.1.- Conexión de cortante, con placa de extremo

Ejemplo 1 del Capítulo 4.

Diseñe una conexión de cortante, con placa de extremo, para una viga W21x57 conectada al patín de una columna W12x58, la reacción de extremo es de 150 kips (68 toneladas), la viga y la columna son de acero ASTM 992 y la placa es de acero A36. Los tornillos serán tipo A325-N, grupo A, de $\frac{7}{8}$ in de diámetro y electrodos E70. Considere las deformaciones de los agujeros.

Solución

Una vez ejecutado el programa DISCON y siguiendo la cadena *Conexiones/Conexiones en Cortante/Placa de extremo* se despliega la ventana de diseño de la conexión (ver Figura 5.14). A continuación se introduce la información solicitada en cada campo, por ejemplo en el campo *Identificación de la conexión* escribimos el nombre de la conexión, en este caso nombraremos la conexión como Ejemplo 1. A continuación, se introducen y seleccionan los valores correspondientes en los diferentes campos como por ejemplo se introduce 150 en el campo del *Cortante Vu* o bien se selecciona en el campo de la casilla *columna* 12x58 de la lista desplegable y así sucesivamente en los campos restantes. La Figura 5.14 muestra los valores correspondientes a los requerimientos del ejemplo.

En el caso del campo *Placa de extremo*, t_p se recomienda seleccionar el primer valor dado debido a que en el párrafo del enunciado no tenemos esta información y el programa mostrara un rango de espesor adecuado en los pasos subsecuentes para la carga de cortante (V_u) que se solicita. En los campos *Geometría de la placa* aparecen unos valores sugeridos al ejecutar esta ventana, los cuales coinciden con los dados en las tablas de diseño del manual AISC, dichos valores pueden ser modificados si así lo requiere el usuario.

CONEXIÓN DE CORTANTE, CON PLACA DE EXTREMO

Identificación: Ejemplo 1

Cortante, Vu: [kips]: 150

Columna: 12 x 58

Viga: 21 x 57

Acero de perfiles: ASTM - A992

Diámetro del tornillo: 7/8 (in), Grupo A (A325)

Posición del tornillo: Grupo A (Tipo A325 - N)

Grado de soldadura: FEXX = 70 ksi

Acero de placas: ASTM - A36

Espesor de placa, tp: 3/16

Geometría de la placa [in]: Lev: 1.25, S: 3.0, Le: 1.25

Calcular tornillos

Ir a plano

Figura 5. 14 Conexión con placa de extremo, en cortante.

La lista desplegable de la casilla *Diámetro del tornillo* está directamente relacionada con una base de datos interna del programa la cual toma los valores de la Tabla 3.2 del capítulo 3 que se tabulan de acuerdo al grupo y tamaño del tornillo, en la lista desplegable de la casilla *Posición del tornillo* está ligada a una base de datos interna la cual contempla la Tabla 3.4 del capítulo 3, debido a que en esta última tabla no se tabulan los valores en función del diámetro como en la Tabla 3.2, estas listas desplegables se relacionan con el grupo y tipo de tornillo, de esta manera al seleccionar los valores en las dos casillas mencionadas nos guiaremos por el grupo y tipo de tornillo y verificaremos que ambas casillas coincidan estos valores, de lo contrario generaríamos un error desde esta parte. Por ejemplo; en la Figura 5.14 podemos observar en la casilla *Diámetro del tornillo* lo siguiente 7/8 in, Grupo A (A325) y en la casilla *Posición del tornillo* lo siguiente Grupo A (Tipo A325-N), como se observa coincide el grupo y tipo del tornillo, para estas casillas no se deben de combinar el grupo y tipo del tornillo (ejemplo; Grupo A en la casilla *Diámetro del tornillo* y Grupo B en casilla *Posición del tornillo*) de lo contrario se generarían errores de entrada.

Una vez introducidos los datos correctos (ver Figura 5.14 anterior) se prosigue con el cálculo oprimiendo el botón *Calcular tornillos*, inmediatamente se despliega una ventana de información, toda vez que no se cumple con las especificaciones, reglas o comentarios del AISC se mostraran ventanas de información como la Figura 5.15 en esta observamos una relación de L-Tv que no se está cumpliendo, muestra de igual forma la ecuación y una recomendación que el usuario puede

llevar a cabo para corregir este error, en este caso se puede aumentar el diámetro del tornillo o el tamaño de la placa.

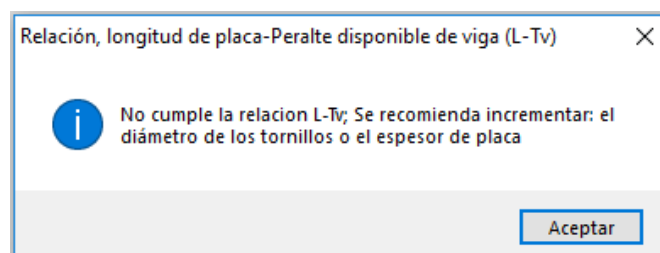


Figura 5. 15 Ventana de información, Relación (L-Tv).

En el ejemplo que nos ocupa seleccionamos un espesor de placa de 5/16 en la casilla *Placa de cortante*, *tp* y volvemos a lanzar el diseño al dar clic en el botón *Calcular tornillos*, para que los datos en la ventana se actualicen. Una vez realizado lo anterior se muestra en la ventana la información correspondiente al número de tornillos y longitud de soldadura necesaria. Al seleccionar el botón *Resumen* se calculan los estados límite de resistencia de los componentes de la conexión. Si los datos son correctos se muestra la geometría de la placa de extremo y las resistencias de los estados límite (ver Figura 5.16).

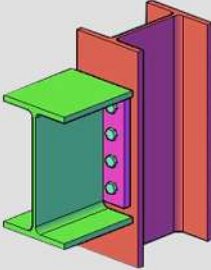
Visualización e impresión de datos

Finalmente, en la parte inferior de la ventana de la Figura 5.16 aparecen tres botones *imprimir*, *ir a plano* y *nuevo cálculo*, en secciones anteriores ya se explicó a detalle que acción ejecutan cada uno de estos botones. Por ejemplo, al oprimir el botón *imprimir* se despliega la ventana *Vista previa de impresión* en la cual se presenta la información general como datos de la universidad y detalles del diseño de la conexión como datos generales de la conexión, geometría de la placa de extremo, soldadura, tornillos, hora y fecha en que se realiza el diseño. En esta ventana aparecen dos cuadros de diálogo dependiendo de si existe una impresora conectada a la computadora o si no existe, en el primer caso se selecciona la impresora y se manda la impresión, en el segundo caso se guarda el documento en PDF, para ello se selecciona la carpeta destino y se introduce el nombre del documento (ver Figura 5.17).

Por otro lado, al hacer clic en el botón *Ir a plano* se despliega una ventana con el plano de la conexión, en la cual existe la opción de imprimir el plano si se cuenta con una impresora conectada o bien de guardar el archivo en PDF (ver Figura 5.18).

Conexión de cortante, con placa de extremo

CONEXIÓN DE CORTANTE, CON PLACA DE EXTREMO



Identificación: Ejemplo 1

Cortante, Vu, [kips]: 150

Columna: 12 x 58

Viga: 21 x 57

Acero de perfiles: ASTM - A992

Diámetro del tornillo: 7/8 (in). Grupo A (A325)

Posición del tornillo: Grupo A (Tipo A325 - N)

Grado de soldadura: FEXX = 70 ksi

Acero de placas: ASTM - A36

Espesor de placa, tp: 5/16

Geometría de la placa [in]

Lev: 1.25

S: 3.0

Leh: 1.25

Calcular tornillos

Los tornillos necesarios son 12 en dos líneas verticales, de 7/8 (in), Grupo A (A325). La longitud (L) es de 17.5 in
El espesor de la soldadura a colocar es de 1/4 in

Resumen

Proporcione una placa PL 5/16 x 8 x 17.5 con un gramil (g) de 5.5 in

Estados límites de resistencia

Resistencia a cortante de los tornillos = 292.09 kips

Resistencia al aplastamiento sobre la placa de extremo = 310.96 kips

Resistencia al aplastamiento sobre la columna = 786.24 kips

Fluencia por cortante de la placa de extremo = 236.25 kips

Ruptura por bloque cortante de la placa de extremo = 177.19 kips

Ruptura por cortante de la placa de extremo = 187.59 kips

Ruptura por cortante de la soldadura = 189.30 kips

Imprimir **Ir a plano** **Nuevo cálculo**

Figura 5. 16 Resultados de la conexión con placa de extremo.

Vista previa de impresión

Imprimiendo

Página 1 de document

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DISCON, Software para Diseño de Conexiones de Acero
Versión 1.0

Conexión de cortante, con placa de extremo

Identificación : Ejemplo 1

1) DATOS PARA EL CALCULO
Cortante, Vu= 150 kips
Viga = W21 x 57
Columna = W12 x 58
Acero de perfiles ASTM - A992
Acero de la placa ASTM - A36
Tornillos de tipo A325 - N
Grado de soldadura FEXX = 70 ksi

2) GEOMETRIA DE LA PLACA
Utilice una placa PL 5/16 x 8 x 17.5 in, Con medidas al extremo de: Lev= 1.25; Leh= 1.25 in

3) GEOMETRIA DE LA SOLDADURA
Use soldadura FEXX = 70 ksi de tamaño in, a lo largo de la longitud Ls= 17 in, (ambos lados de la placa con el alma de la viga)

4) TORNILLOS
Proporcione 12 tornillos en dos filas verticales, de tipo A325 - N de 7/8 in de diámetro, en agujeros STD, con un gramil (g) de 5.5 in, paso (S) de 3.0 in

Hora : 20:14:20
Fecha : 08-29-2018

Guardar impresión como

Este equ > Documentos >

Organizar Nueva carpeta

libros tesis

Autodesk Application Manager

Inventor Server SDK ACAD 2016

Nombre de archivo: Ejemplo 1

Tipo: Documento PDF (*.pdf)

Guardar Cancelar

Figura 5. 17 Ventana de impresión/visualización de los resultados.

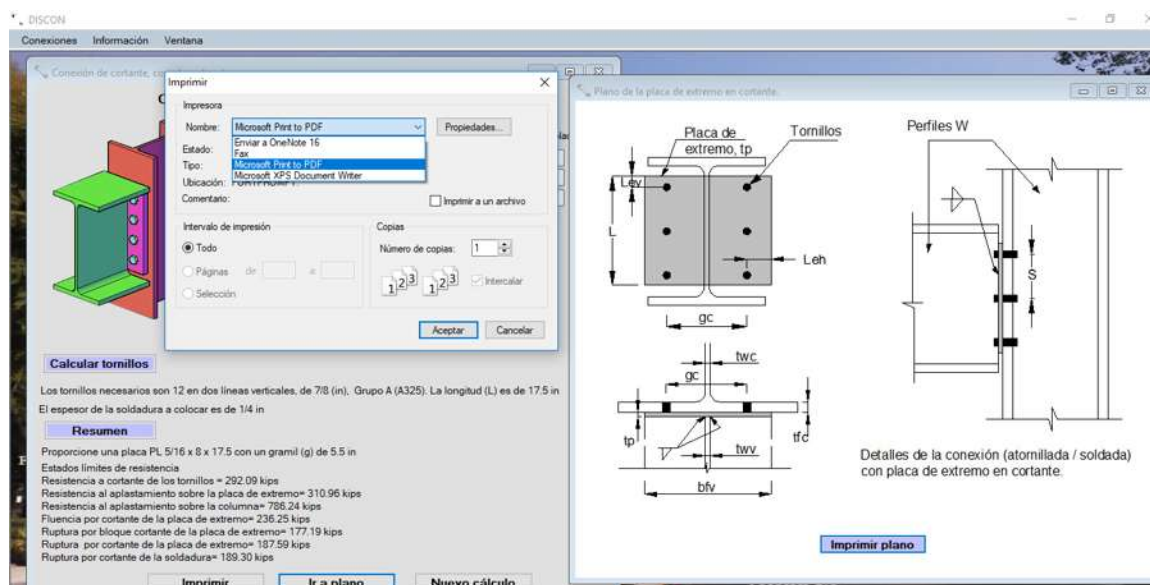


Figura 5. 18 Ventana de impresión/visualización del plano.

Por último, si se requiere un nuevo cálculo basta con dar clic en el botón *Nuevo cálculo* en la parte inferior de la ventana, esta restablecerá los campos de la ventana y se podrá iniciar el diseño de una nueva conexión.

Comparación de los resultados

A continuación, se presenta una comparación de los resultados del ejemplo 1, derivados de los cálculos realizados a mano en el capítulo 4 y los resultados que arroja el software DISCON, el resumen se presenta en la tabla 5.3.

Tabla 5. 3 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 1 con placa de extremo en cortante.

	Diseño manual	Diseño con el Programa DISCON
Geometría de la placa de extremo.	$PL \frac{5}{16} \times 8 \times 17 \frac{1}{2} \text{ in}$	$PL \frac{5}{16} \times 8 \times 17 \frac{1}{2} \text{ in}$
Tornillos a utilizar.	12 tornillos de $\frac{7}{8} \text{ in}$	12 tornillos de $\frac{7}{8} \text{ in}$
Tamaño de soldadura.	$\frac{1}{4} \text{ in}$	$\frac{1}{4} \text{ in}$
Estados límites de resistencia		
Para la resistencia al aplastamiento sobre la placa de extremo.	310.95 kips	310.96 kips
Para la resistencia del patín de la columna.	786.24 kips	786.24 kips
Resistencia a cortante de los tornillos.	292.09 kips	292.09 kips
Fluencia por cortante de la placa de extremo.	236.26 kips	236.25 kips
Ruptura por cortante de la placa de extremo.	187.59 kips	187.59 kips
Fluencia por cortante del alma de la viga soportada.	256.4 kips	256.36 kips
Resistencia por corte de la soldadura.	189.3 kips	189.30 kips

En la tabla anterior se observa que los resultados son prácticamente iguales, debido a que en ambos casos se realizaron con las especificaciones del AISC y no existen errores en la programación de los algoritmos en el programa DISCON.

5.3.2.- Conexión de cortante, con placa sencilla

Ejemplo 2 del Capítulo 4.

Diseñe una conexión de cortante, con placa sencilla entre una viga W16x50 conectada al patín de una columna W14x90, la reacción de extremo es de 49.6 kips (22.5 toneladas), el acero de los perfiles es ASTM 992. Los tornillos serán $\frac{3}{4}$ de diámetro tipo A325-N con agujeros estándar (STD), los electrodos E70 y el acero a utilizar de la placa será A36. Considere las deformaciones de los agujeros.

Solución

Después de ejecutar el programa DISCON, seguiremos la cadena *Conexiones/Conexiones en Cortante/Placa sencilla*, se visualizará en pantalla la ventana de la conexión y procederemos a introducir y seleccionar los datos en cada casilla del ejercicio descrito en el párrafo anterior como se observa en la Figura 5.19.

CONEXIÓN DE CORTANTE, CON PLACA SENCILLA

Identificación: Ejemplo 2

Cortante, Vu, [kips]: 49.6

Columna: 14 x 90

Viga: 16 x 50

Acero de perfiles: ASTM - A992

Diámetro del tornillo: 3/4 (in), Grupo A (A325)

Posición del tornillo: Grupo A (Tipo A325 - N)

Grado de soldadura: FEXX = 70 ksi

Acero de placas: ASTM - A36

Espesor de placa, tp: ASTM - A572

Placa de cortante [in]

Lev = 1.25

S = 3.0

Leh = 1.5

a = 3.0

Calcular

Utilice una PL 1/4 x 4.5 x 11.5 in

Proporcione 4 tornillos en una línea vertical, de 3/4 (in), Grupo A (A325)

Seleccione una soldadura no menor a 3/16 in, para iniciar el cálculo

Tamaño de soldadura: Tamaño de soldadura

Resumen

Ir a plano

Figura 5. 19 Entrada de datos de la conexión con placa sencilla.

Para la sección *Placa de cortante* de manera automática se visualizarán los valores de paso ($S = 3.0$) y la excentricidad ($a = 3.0$) en pulgadas, estos valores son recomendados para el cálculo ya que en las tablas de diseño del manual AISC con estos mismos valores están tabuladas las Tablas 10-10 denominadas Single-Plate Connections, si se desea modificar basta con colocar el cursor sobre la casilla y reescribir los valores deseados. La distancia vertical (L_v) se introducirán como mínimo los valores de acuerdo a la Tabla 3.3 del capítulo 3 anterior y la horizontal (L_h) será el valor de dos veces el diámetro del tornillo que se utilice en el cálculo, como mínimo.

Como no conocemos el espesor de la placa (t_p) seleccionaremos en la casilla *Espesor de placa*, t_p el valor de $3/16$, una vez revisado todos los datos de entrada daremos clic en el botón *Calcular* nos mostrara una ventana de información (Figura 5.20a) donde nos dirá que la relación ($L-T_v$) de distancias no se cumplen y nos pedirá incrementar el diámetro de los tornillos o el tamaño de placa, daremos clic en aceptar y aparecerá otra ventana donde nos dará los valores de espesor de placa mínimo y máximo que se pueden elegir (Figura 5.20b), observamos que $t_{min} = 1/4$ de pulgada, daremos clic en aceptar y regresaremos a la casilla *Espesor de placa*, t_p seleccionaremos el valor de $1/4$ y volvemos a dar clic en el botón *Calcular* para actualizar los resultados hasta aquí obtenidos. Como podemos observar el tamaño es aceptado y no se muestra ninguna ventana de información con este tamaño de placa, en especial la ventana de la Figura 5.20b nos dará un margen aceptado de espesor mínima y máxima de la placa que podemos emplear para el cálculo de acuerdo a las especificaciones.

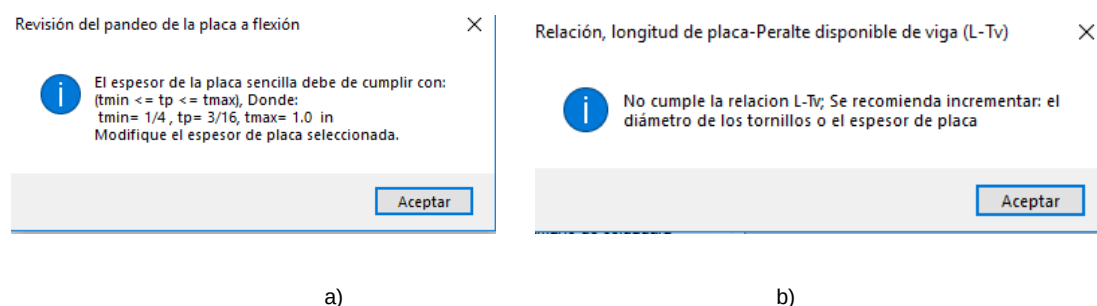


Figura 5. 20 Ventanas de información en la placa sencilla.

Realizado lo anterior en la ventana de la conexión observamos que nos muestra las medidas de la placa sencilla, el número de tornillos y su configuración, de igual manera un tamaño de soldadura recomendada a utilizar de acuerdo a las especificaciones del AISC y la Tabla 3.4 anterior, seleccionaremos en la casilla *Tamaño de soldadura* el valor de $3/16$ (Figura 5.21), daremos clic en el botón *Resumen* para que el programa realice los cálculos de los estados límites de los

componentes de la conexión y si los datos introducidos son correctos se mostraran los valores calculados y se activaran los botones de *Imprimir* y *Nuevo cálculo*.

CONEXIÓN DE CORTANTE, CON PLACA SENCILLA

Identificación: Ejemplo 2

Cortante, Vu, [kips]: 49.6

Columna: 14 x 90

Viga: 16 x 50

Acero de perfiles: ASTM - A992

Diámetro del tornillo: 3/4 (in), Grupo A (A325)

Posición del tornillo: Grupo A (Tipo A325 - N)

Grado de soldadura: FEXX = 70 ksi

Acero de placas: ASTM - A36

Espesor de placa, tp: 1/4

Placa de cortante [in]

Lev= 1.25

S = 3.0

Leh= 1.5

a = 3.0

Calcular

Utilice una PL 1/4 x 4.5 x 11.5 in

Proporcione 4 tornillos en una línea vertical, de 3/4 (in), Grupo A (A325)

Seleccione una soldadura no menor a 3/16 in, para iniciar el cálculo

Tamaño de soldadura 3/16

Resumen

Estados límites de resistencia

Resistencia a cortante de los tornillos = 71.60 kips

Resistencia al aplastamiento sobre la placa sencilla= 69.74 kips

Resistencia al aplastamiento sobre el alma de la viga= 133.38 kips

Fluencia por cortante de la placa sencilla= 62.1 kips

Ruptura por cortante de la placa sencilla= 52.2 kips

Bloque de cortante de la placa sencilla= 53.07 kips

Resistencia de la soldadura a cortante directo= 92.91 kips

Resistencia de los tornillos cargados excéntricamente= 71.60 kips

Resistencia de la soldadura cargada excéntricamente= 85.65 kips

Imprimir **Ir a plano** **Nuevo cálculo**

Figura 5. 21 Resultados de la conexión con placa sencilla.

Visualización e impresión de datos

En la parte inferior de la ventana de diseño de la conexión de placa sencilla en cortante (Figura 5.21), daremos clic en el botón *Imprimir* y visualizaremos una ventana denominada *Vista previa de impresión* en la cual podemos solo visualizar los resultados calculados por el programa, imprimir en la parte superior izquierda o guardar en un formato PDF los resultados. De igual forma si se desea visualizar, guardar en formato PDF o imprimir el plano de la conexión daremos clic en el botón *Ir a plano* el cual abrirá una nueva ventana que mostrará el plano de la conexión.

Comparación de los resultados

A continuación, se presenta una comparación de los resultados del ejemplo 2, derivados de los cálculos realizados a mano en el capítulo 4 y los resultados que arroja el programa DISCON, el resumen se presenta en la tabla 5.4.

Tabla 5. 4 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 2 con placa sencilla en cortante.

	Diseño manual	Diseño con el programa DISCON
Geometría de la placa sencilla	$PL \frac{1}{4} \times 4 \frac{1}{2} \times 11 \frac{1}{2} \text{ in}$	$PL \frac{1}{4} \times 4 \frac{1}{2} \times 11 \frac{1}{2} \text{ in}$
Tornillos a utilizar.	4 tornillos de $\frac{3}{4} \text{ in}$	4 tornillos de $\frac{3}{4} \text{ in}$
Tamaño de soldadura.	$\frac{3}{16} \text{ in}$	$\frac{3}{16} \text{ in}$
Estados límites de resistencia		
Resistencia al aplastamiento sobre la placa.	69.739 kips	69.74 kips
Resistencia en el alma de la viga.	133.38 kips	133.38 kips
Resistencia a cortante de los tornillos.	71.604 kips	71.60 kips
Fluencia por cortante de la placa.	62.1 kips	62.1 kips
Ruptura por cortante de la placa.	52.2 kips	52.2 kips
Fluencia por cortante del alma de la viga soportada.	185.79 kips	185.82 kips
Resistencia por córtate de la soldadura.	92.894 kips	92.91 kips
Resistencia de los tornillos cargados excéntricamente.	71.604 kips	71.60 kips
Resistencia de la soldadura cargada excéntricamente.	84.35 kips	85.65 kips
Resistencia por bloque de cortante.	53.092 kips	53.07 kips

En la tabla anterior se observa que la diferencia en algunos valores decimales entre el diseño manual y con el programa DISCON casi es despreciable, debido a que ambos diseños siguen las especificaciones del AISC y las diferencias en decimales son de aproximación en el redondeo de los mismos.

A partir del siguiente ejercicio omitiremos algunos pasos del programa, debido a que son repetitivos en los ejemplos siguientes y se han expuesto con anterioridad.

5.3.3.- Conexión de cortante, con asiento atiesado atornillado/soldado

Ejemplo 3 del Capítulo 4

Diseñe una conexión de cortante, con asiento atiesado para conectar una viga W21x68 al alma de una columna W14x90. La reacción de extremo solicitada es de 125 kips (57 toneladas), utilice tornillos A325-N de $\frac{3}{4}$ de diámetro para conectar la viga soportada a la placa de asiento. La soldadura será E70, los perfiles son de acero A992 y placas de acero A36.

Solución

Una vez abierta la ventana *Conexión de asiento atiesada en cortante* introduciremos los datos dados en el párrafo anterior, como no conocemos el tamaño de la soldadura, en la casilla *Tamaño de soldadura* seleccionaremos la primera opción de 1/8 y daremos clic en el botón *Calcular* ubicado en la parte izquierda de la ventana, a continuación se mostraran los coeficientes, geometría de la soldadura, placas de asiento y atiesador en la ventana, todo esto con la configuración con este tamaño de soldadura seleccionado anteriormente (ver Figura 5.22).

CONEXIÓN DE CORTANTE, CON ASIENTO ATIESADA

Identificación:

Cortante Vu: [kips]:

Columna:

Viga:

Acero de perfiles:

Grado de soldadura:

Tamaño de soldadura:

Acero de placas:

Calcular

Longitud de apoyo requerido (N) de 6.25 in, Base de la placa atiesadora (W) 7 in, Longitud vertical de atiesador (L) 26 in.

1) SOLDADURAS
Use soldadura horizontal de 6 in, de 1/8 in en ambos lados de la placa atiesadora para la placa de asiento al alma de la columna.
Use soldadura vertical de 26 in de 1/8 in, en ambos lados de la placa atiesadora al alma de la columna.

2) PLACAS
Use una PL 3/8 x 7 x 8 in para la placa de asiento y 2 tornillos A325-N de 3/4 in, de diámetro con un gramil de 5.5 in para el montaje.
Use una PL 5/8 x 7 x 26 in para la placa de atiesador

3) ÁNGULO
Use L4 x 4 x 1/4 in, para la estabilidad de la viga, con soldadura de filete de 1/8 in, a lo largo de la base del ángulo al alma de la columna y patin de la viga.

Imprimir **Ir a plano** **Nuevo cálculo**

Figura 5. 22 Ventana de la conexión de asiento atiesada.

Realizado lo anterior podemos observar en la Figura 5.22 para un tamaño de soldadura de 1/8 de pulgada, es necesario una placa atiesadora de $\frac{5}{8} \times 7 \times 26$ in dando como consecuencia una placa

demasiada grande, sin embargo el programa calcula esta geometría de la placa atiesadora de acuerdo al tamaño de la soldadura y la longitud (L) que se necesita para colocar un espesor de soldadura de 1/8 de pulgada que soporte la carga aplicada (V_u) de 125 kips solicitada en la conexión. La placa con esta geometría resultaría costosa y sobrada en la arquitectura de la conexión, por esta razón realizaremos un nuevo cálculo, en la casilla *Tamaño de soldadura* seleccionaremos un valor de 5/16 y daremos clic en el botón *Calcular* para actualizar los datos en la ventana (Figura 5.23), como veremos la geometría de la placa es de $5/8 \times 7 \times 15$ in ahora es más pequeña que la anterior y aquí terminara el diseño de la conexión tratada.

CONEXIÓN DE CORTANTE, CON ASIENTO ATIESADA

Identificación:

Cortante, V_u , [kips]:

Columna:

Viga:

Acero de perfiles:

Grado de soldadura:

Tamaño de soldadura:

Acero de placas:

Calcular

Longitud de apoyo requerido (N) de 6.25 in, Base de la placa atiesadora (W) 7 in, Longitud vertical de atiesador (L) 15 in.

1) SOLDADURAS
Use soldadura horizontal de 3 in, de 5/16 in en ambos lados de la placa atiesadora para la placa de asiento al alma de la columna.
Use soldadura vertical de 15 in de 5/16 in, en ambos lados de la placa atiesadora al alma de la columna.

2) PLACAS
Use una PL 3/8 x 7 x 8 in para la placa de asiento y 2 tornillos A325-N de 3/4 in, de diámetro con un gramil de 5.5 in para el montaje.
Use una PL 5/8 x 7 x 15 in para la placa de atiesador

3) ÁNGULO
Use L4 x 4 x 1/4 in, para la estabilidad de la viga, con soldadura de filete de 1/8 in, a lo largo de la base del ángulo al alma de la columna y patín de la viga.

Imprimir **Ir a plano** **Nuevo cálculo**

Figura 5. 23 Resultados de la conexión de asiento atiesada.

Posibles errores en el diseño

En la sección 4.3 se aborda el tema de este tipo de conexiones atiesadas, al igual las recomendaciones y como el programa está enfocado a la solución de vigas unidas al alma de la columna, se deberá tener en cuenta el apartado de *Conexiones atiesadas al alma de columnas* de la sección 4.3 cuando realizamos un diseño de este tipo de conexión, debido a que no todos los perfiles W utilizados como columnas se pueden emplear para realizar estas conexiones atiesadas.

De no introducir los datos correctos nos mostrará ventanas de información en las cuales nos dirá el error producido y como solucionarlo. Para poder visualizar las ventas de la Figura 5.24 en la casilla *Viga* seleccionaremos un perfil 21x201 y daremos clic en el botón *Calcular* para actualizar

los resultados en la ventana de la conexión, de esta manera aparecerán las ventanas consecutivamente (a, b y c) de la Figura 5.24 las cuales con el perfil de viga seleccionado habremos generado un error apropiado en el diseño de la conexión para poder visualizar estas ventanas de información.

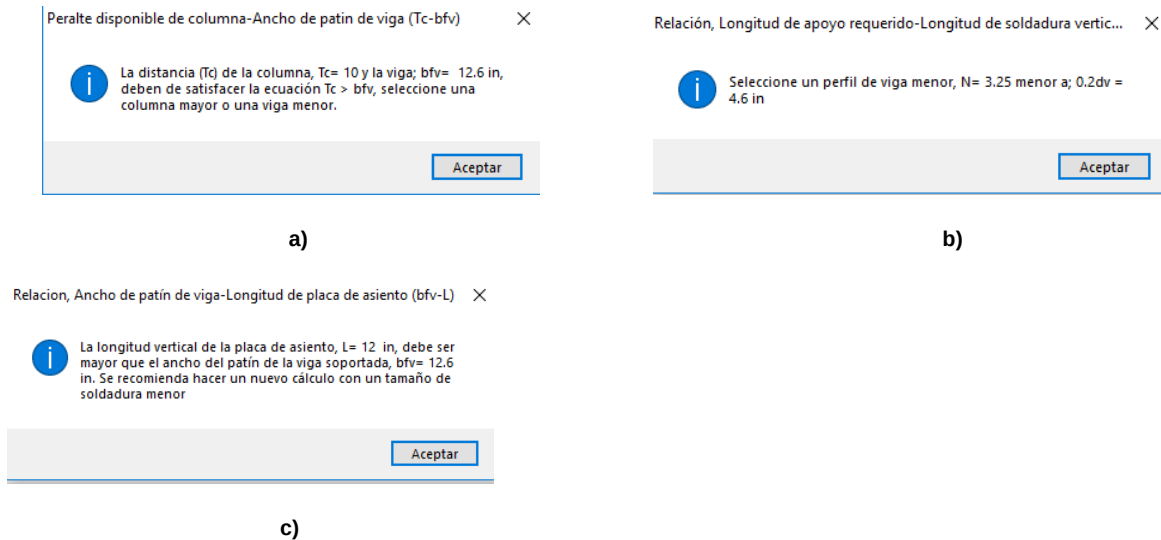


Figura 5. 24 Posibles errores en el diseño.

Comparación de los resultados

Del capítulo 4 para este ejercicio realizado a mano y de los resultados que arroja el programa DISCON obtenemos la Tabla 5.5 siguiente, la cual es derivada de los cálculos realizados anteriormente.

Tabla 5. 5 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 3 con placa de asiento atiesada.

	Diseño manual	Diseño con el programa DISCON
Fluencia por cortante del alma de la viga.	272.19 kips	272.19 kips
Distancia W	7 in	7 in
Distancia N	6.25 in	6.25 in
Tamaño de soldadura a emplear en la placa de asiento y atiesador	5/16 in	5/16 in
Geometría de la placa de atiesador	PL $\frac{5}{8}$ x 7 x 14 in	PL $\frac{5}{8}$ x 7 x 15 in
Placa de asiento	PL $\frac{3}{8}$ x 7 x 8 in	PL $\frac{3}{8}$ x 7 x 8 in
Angulo superior	L4 x 4 x $\frac{1}{4}$ in	L4 x 4 x $\frac{1}{4}$ in
Tamaño de soldadura empleada en el ángulo.	1/8 in	1/8 in

Existe una diferencia entre el resultado realizado a mano y con el programa en la geometría de la placa atiesadora una es de longitud (L) de 14 y 15 in respectivamente, esto debido a la aproximación de los decimales pero ambas son correctas, en la solución utilizando las tablas del

manual AISC del capítulo 4, es el mismo resultado que nos arroja con el programa con una geometría de $PL \frac{5}{8} \times 7 \times 15$ in. Para el diseño de esta conexión se recomienda tener en cuenta las especificaciones y comentarios de la sección 4.3 como ya se había mencionado anteriormente.

5.3.4.- Conexión totalmente restringida Tipo FR, con placa de patín

Ejemplo 4 del Capítulo 4

Diseñe una conexión de momento FR, con placa de patín entre una viga W18x50 que estará conectada al patín de una columna W14x53 los perfiles de viga y columna son de acero ASTM 992. Se emplean placas de acero A36, en el patín superior, inferior y una placa de cortante, estarán soldadas al patín de la columna y atornilladas al alma y patines de la viga. La conexión deberá de soportar un momento (M_u) de 250 kips-ft, un cortante (V_u) de 52 kips y una carga axial de compresión (P_u) en la columna de 300 kips. La soldadura será E70. Los tornillos son A325-N de $\frac{7}{8}$ in de diámetro.

Solución

Al ejecutar la ventana *Conexiones con placa de patín, a momento* en los apartados de *Placa de cortante* y *Placas en patines*, nos mostrara valores por default, estos son recomendados por las especificaciones del AISC y la Tabla 3.4 del capítulo anterior. Después de introducir y seleccionar los datos para el cálculo del enunciado arriba descrito y colocado los datos de la placa de cortante y placas en los patines como se observa en la Figura 5.25, debido a que no conocemos cual es el espesor de la placa de cortante, en la casilla *Placa de cortante, tp1* seleccionaremos la primera opción de 3/16 para que el programa empiece una aproximación del espesor mínimo y máximo recomendadas de acuerdo a las especificaciones del AISC para el espesor de la placa al dar clic en el botón *Calcular*.

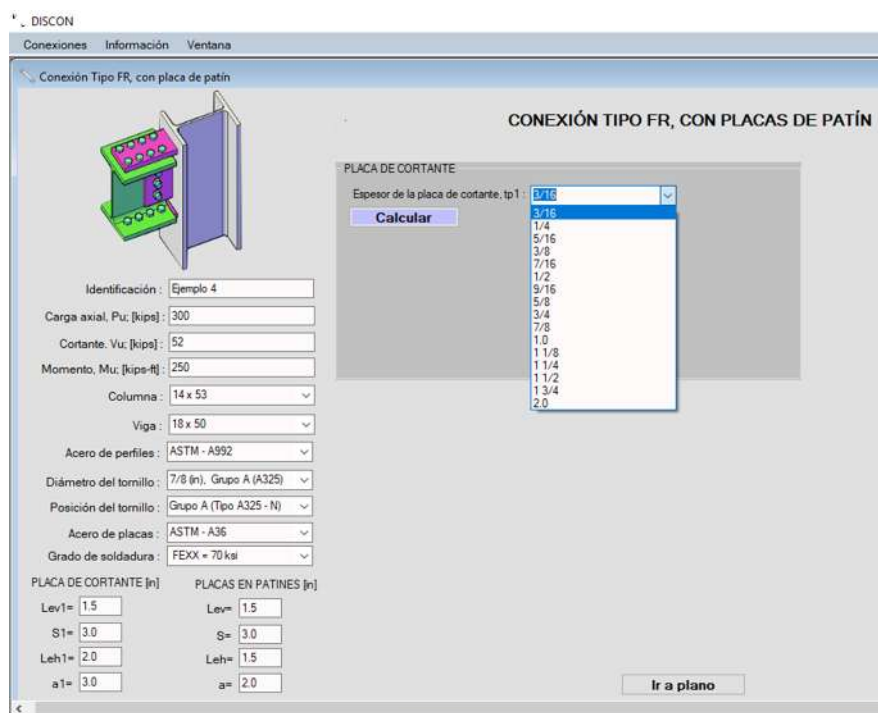


Figura 5. 25 Ventana de la conexión con patines.

En esta parte se estará diseñando la placa sencilla en cortante para la conexión, al dar clic en el botón **Calcular**, esta parte del diseño será como el ejercicio 5.3.2 *Conexión de cortante, con placa sencilla* de igual manera los pasos a seguir. En la primera ventana que nos mostrará la *Relación (L-Tv)* en esta daremos clic en *Aceptar*, después aparecerá la ventana *Revisión del pandeo de la placa a flexión* aquí nos dará un espesor de placa mínimo (t_{min}) y una máxima (t_{max}) que podemos seleccionar de acuerdo a las especificaciones descritas anteriormente en el capítulo 4. Ahora que ya sabemos cuáles son los rangos de espesor de la placa ($tp1$) que podemos utilizar regresamos a la casilla *Placa de cortante*, $tp1$ y seleccionaremos el espesor de 3/8, después daremos clic en el botón **Calcular** para actualizar los datos en la ventana (ver Figura 5.26).

Si los datos introducidos son correctos en la ventana de la conexión observaremos la geometría de la placa de cortante a utilizar, el número de tornillos, así como su configuración, y la soldadura a utilizar de acuerdo a la sección 3.2.4 y 4.2 anteriores. Seleccionaremos el tamaño de soldadura en la casilla *Tamaño de soldadura* de 1/4 de pulgada y daremos clic en el botón **Resumen** (si la placa o la soldadura seleccionadas no cumplen con los requisitos de las especificaciones nos mostrara ventanas de información) enseguida veremos la carga máxima (V_{max}) que resiste la conexión con el espesor de la placa de cortante seleccionada con anterioridad y se activara la siguiente sección de *Patín y placa superior* como se observa en la Figura 5.26.

DISCON

Conexiones Información Ventana

Conexión Tipo FR, con placa de patín

CONEXIÓN TIPO FR, CON PLACAS DE PATÍN

PLACA DE CORTANTE

Espesor de la placa de cortante, $tp1$: 3/8

Calcular

Utilice una PL 3/8 x 5 x 9 in

Proporcione 3 tornillos en una línea vertical, de 7/8 in, Grupo A (A325)

Seleccione una soldadura no menor a 1/4 in, para iniciar el cálculo

Tamaño de soldadura: 1/4

Resumen

La carga máxima (V_{max}) que se puede aplicar a la placa sencilla es de 58.72 kips y el cortante aplicado (V_u) de 52 kips, se debe de cumplir la ecuación $V_{max} > V_u$

PATÍN Y PLACA SUPERIOR

El momento máximo (M_n) que se puede aplicar es 317.82 y el momento último (M_u) 250 kips-ft se debe de cumplir la ecuación $M_n > M_u$

Se recomienda un espesor de placa (tp) en los patines de 1/4 a 7/8 in, de espesor

Seleccione el espesor de placa en el patín (tp): **Placa de patín**

Placa

3/16
1/4
5/16
3/8
7/16
1/2
5/8
3/4
7/8
1.0
1 1/8
1 1/4
1 1/2
1 3/4
2.0

Ir a plano

Identificación: Ejemplo 4

Carga axial, P_u , [kips]: 300

Cortante, V_u , [kips]: 52

Momento, M_u , [kips-ft]: 250

Columna: 14 x 53

Viga: 18 x 50

Acero de perfiles: ASTM - A992

Diámetro del tornillo: 7/8 in, Grupo A (A325)

Posición del tornillo: Grupo A (Tipo A325 - N)

Acero de placas: ASTM - A36

Grado de soldadura: FEXX = 70 ksi

PLACA DE CORTANTE [in]

Lev1= 1.5

S1= 3.0

Leh1= 2.0

a1= 3.0

PLACAS EN PATINES [in]

Lev= 1.5

S= 3.0

Leh= 1.5

a= 2.0

Figura 5. 26 Datos de la placa de cortante.

Realizado lo anterior en la sección que se activa de *patín y placa superior* nos mostrara el momento máximo (M_n) que se puede aplicar y el momento aplicado (M_u), los rangos en que debe de estar el espesor de placa que se colocaran en los patines de acuerdo a las especificaciones (de igual manera si la placa de cortante o el perfil de viga no cumple con los estados limites nos mostrara ventanas de información donde nos dirá el error y la posible solución) ahora en la casilla *Placa de patín* seleccionaremos un espesor (tp) de 7/8 y daremos clic en el botón *Placa* para checar si el espesor seleccionado es correcto.

Veremos en la ventana la fuerza axial (P_{ufp}) aplicada en la placa de patín por el momento (M_u) y el tamaño de soldadura que se deberá de proporcionar para resistir la carga axial aplicada. Generalmente la placa en el patín superior y la del inferior son iguales para proporcionar la misma resistencia en ambos, daremos enseguida clic en el botón *Resultados* que se activa para que el programa de manera interna realice los cálculos de los estados límites de la placa y del patín, también se revisara si se necesitan o no atiesadores transversales y en la zona de panel, en dado caso que se necesiten nos abrirá la sección para el cálculo de los atiesadores y si no es el caso observaremos una ventana de información que dirá que los resultados se pueden imprimir y se activaran los botones de impresión.

Para este ejemplo de diseño se necesitarán atiesadores transversales y en la zona de panel, en donde al calcular el paso anterior, nos mostrara las ventas de la Figura 5.27, mostrando las resistencias de los estados límites calculados para cada caso.

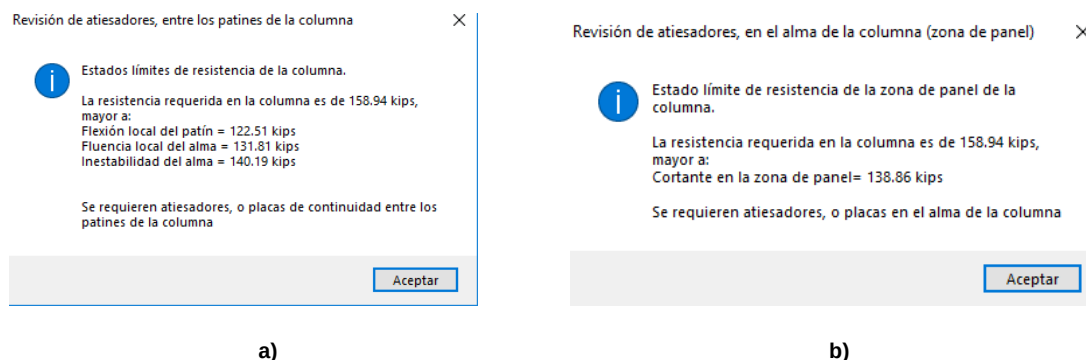


Figura 5. 27 Estados límites, cálculo de atiesadores.

Después de dar clic en los botones *Aceptar* de la figura anterior nos mostrara la geometría de la placa a utilizar en los patines de la viga, el número de tornillos que se colocaran en dos filas (en pares) y se visualizaran las secciones *Diseño de atiesadores transversales* y *Diseño de atiesadores en la zona de panel*, en las cuales nos proporcionara un espesor de placa propuesto de acuerdo a las especificaciones antes mencionadas. Para el diseño de los atiesadores transversales, seleccionaremos un espesor (tst) de 1/2 in y un ancho (bst) de atiesador de 3 in, daremos clic en el botón *Soldadura* para calcular el tamaño necesario, a continuación nos mostrara el rango del tamaño de la soldadura que podemos emplear y después de seleccionar el tamaño de 1/4 (preferentemente el que nos da el programa) y daremos por ultimo clic en el botón *Resultados* para que de manera interna el programa calcule los estados límites de la placa de atiesador y la soldadura seleccionada (ver Figura 5.28a).

Ahora diseñaremos las placas de atiesador en la zona de panel, para ello en la casilla *Espesor de placa* seleccionaremos el tamaño de 3/16 pulgadas que nos da el programa como opción, daremos clic en el botón *Resultados* para que el programa realice los cálculos necesarios y verifique si los datos proporcionados son correctos (ver Figura 5.28c). Si los datos en las dos secciones anteriores mencionadas no son correctos nos enviará ventanas de información en las cuales nos dirá que parámetros se deberán de cumplir, los valores calculados y las posibles soluciones, pero si son correctos los datos visualizaremos las ventanas 5.28b y 5.28c, hasta aquí terminamos el diseño de la conexión.

DISCON

Conexiones Información Ventana

Conexión Tipo FR, con placa de patín

CONEXIÓN TIPO FR, CON PLACAS DE PATÍN

PLACA DE CORTANTE

Espesor de la placa de cortante, tp 1:

Calcular

Utilice una PL 3/8 x 5 x 9 in

Proporcione 3 tornillos en una línea vertical, de 7/8 in, Grupo A (A325)

Seleccione una soldadura no menor a 1/4 in, para iniciar el cálculo

Tamaño de soldadura:

Resumen

La carga máxima (Vmax) que se puede aplicar a la placa sencilla es de 58.72 kips y el cortante aplicado (Vu) de 52 kips, se debe de cumplir la ecuación $V_{max} > V_u$

PATÍN Y PLACA SUPERIOR

El momento máximo (Mn) que se puede aplicar es 317.82 y el momento último (Mu) 250 kips-ft se debe de cumplir la ecuación $M_n > M_u$

Se recomienda un espesor de placa (tp) en los patines de 1/4 a 7/8 in, de espesor

Seleccione el espesor de placa en el patín (tp):

Placa

La fuerza axial aplicada en la placa de patín (Pup) por el momento (Mu) es de 158.94 kips

Proporcione un tamaño de 3/8 in, de soldadura de filete, en ambos lados de la placa

Resultados

Use una PL 7/8 x 6.5 x 12.5 in con 8 tornillos, en dos filas horizontales

DISEÑO DE ATIESADORES TRANSVERSALES

Proporcione un espesor de atiesador no menor a 1/2 in, para iniciar el cálculo

Espesor de placa, tat (in):

Seleccione un ancho (bat) de atiesador no menor a 2.0 in, para iniciar el cálculo

Ancho de placa, bat (in):

Soldadura

Seleccione un tamaño de soldadura de 1/4 a 5/8 in

Tamaño de soldadura:

Resultados

Use 4PL 1/2 x 2 x 12.58 in y tamaño de soldadura 1/4 in en ambos lados de las placas de atiesadores o placas de continuidad

DISEÑO DE ATIESADORES EN LA ZONA DE PANEL

Se recomienda (una) 1PL placa de espesor mínima de 3/16 in, para iniciar el cálculo

Resultados

Use (una) 1PL 3/16 x 11.43 x 17.24 in, en la zona de panel

El tamaño de soldadura es 1/8 in en todo el contorno de la placa atiesadora

Identificación:

Carga axial, Pu, [kips]:

Cortante, Vu, [kips]:

Momento, Mu, [kips-ft]:

Columna:

Viga:

Acero de perfiles:

Diámetro del tornillo:

Posición del tornillo:

Acero de placas:

Grado de soldadura:

PLACA DE CORTANTE [in]

Lev1=

S1=

Leh1=

a1=

PLACAS EN PATINES [in]

Lev=

S=

Leh=

a=

Imprimir **Ir a plano** **Nuevo cálculo**

a)

Resultados, atiesadores o placas de continuidad.

Los datos son CORRECTOS para los atiesadores (placas de continuidad), Se pueden imprimir los resultados

Aceptar

Resultados, Zona de panel

Los datos son CORRECTOS para los atiesadores en el alma de la columna (Zona de panel), Se pueden imprimir los resultados

Aceptar

b)

c)

Figura 5. 28 Resultados, conexión con placas de patín.

Comparación de los resultados

A continuación, se presenta una comparación de los resultados del ejemplo 4, derivados de los cálculos realizados a mano en el capítulo 4 y los resultados que arroja el programa DISCON, el resumen se presenta en la Tabla 5.6.

Tabla 5. 6 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 4 con placa de patín a momento.

	Diseño manual	Diseño con el programa DISCON
Placa de cortante	$\frac{3}{8} \times 5 \times 9$ in	$\frac{3}{8} \times 5 \times 9$ in
Soldadura a utilizar en la placa de cortante.	$\frac{1}{4}$ in	$\frac{1}{4}$ in
Numero de tornillos en la placa de cortante.	3	3
Placa en los patines.	$\frac{7}{8} \times 6 \frac{1}{2} \times 12 \frac{1}{2}$ in	$\frac{7}{8} \times 6 \frac{1}{2} \times 12 \frac{1}{2}$ in
Soldadura a utilizar en la placa de patines.	$\frac{3}{8}$ in	$\frac{3}{8}$ in
Numero de tornillos en la placa de patines.	8	8
Atiesadores transversales	4PL $\frac{1}{2} \times 3 \times 12.8$ in	4PL $\frac{1}{2} \times 3 \times 12.58$ in
Soldadura en los atiesadores transversales	$\frac{1}{4}$ in	$\frac{1}{4}$ in
Atiesadores en la zona de panel	1 PL de $\frac{3}{16} \times 16.9 \times 11.43$ in	1 PL de $\frac{3}{16} \times 17.24 \times 11.43$ in
Soldadura en el atiesador de la zona de panel	$\frac{1}{8}$ in	$\frac{1}{8}$ in

En la tabla anterior se observa que las diferencias en algunos valores son por decimales entre el diseño manual y con el programa DISCON estas diferencias son despreciables, debido a que ambos diseños siguen las especificaciones del AISC y las diferencias son de aproximación en el redondeo de los mismos.

5.3.5.- Conexión totalmente restringida Tipo FR, con placa de extremo

Ejemplo 5 del Capítulo 4

Diseñe la conexión de momento FR, para una viga W21x57 que se conecta al patín de una columna W14x90, la placa será extendida con 4 tornillos. Un análisis de marco muestra que la conexión debe transferir un momento (M_u) de 350 kips-ft, un cortante (V_u) de 65 kips y una carga axial de compresión (P_u) en la columna de 420 kips. El acero de los perfiles es A992 y acero A36 para la placa de extremo. Use electrodos E70 y tornillos A490-N.

Solución

Una vez abierta la ventana de la conexión con *Placa de extremo no atiesada, con 4 tornillos* se procede a introducir los datos del párrafo anterior y las dimensiones primarias en el apartado *geometría de la placa*. Recordaremos que la casilla Pf,i es la distancia de la cara interior del patín de la viga al centro del tornillo interior y la casilla Pf,o es la distancia de la cara exterior del patín de la viga al centro del tornillo exterior (se recomienda ver el plano, dando clic en el botón inferior *Ir a plano*) y en la casilla P_{ext} se introducirá un valor generalmente dos veces mayor al valor de la

casilla Pf,i donde esta es la medida de la cara exterior del patín de la viga al borde superior de la placa de extremo, en la sección *Geometría de la placa* en dimensiones primarias se presentan por default valores preestablecidos para el cálculo.

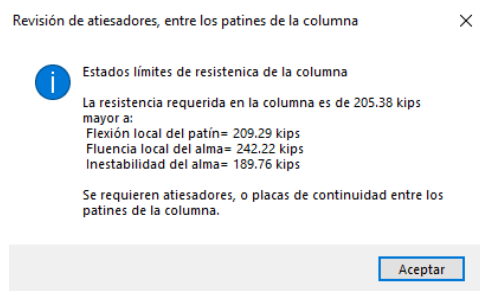
A continuación, daremos clic en el botón *Calcular* para visualizar las dimensiones secundarias, el espesor de la placa de extremo y el diámetro de los tornillos recomendado como se observa en la Figura 5.29.

Figura 5. 29 Ventana de la conexión de momento con placa de extremo extendida.

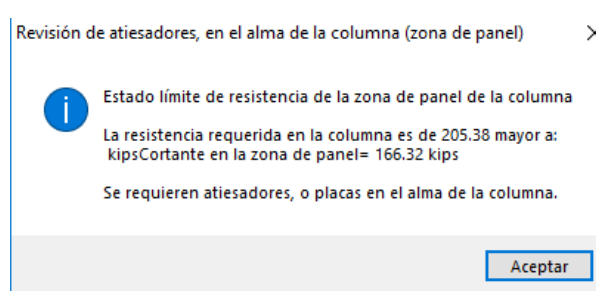
Veremos en pantalla los valores que el programa calcula de acuerdo a las especificaciones del capítulo 4 anterior, en donde seleccionaremos en la casilla *Placa de extremo* el valor de 1 1/4 para que los valores coincidan con el ejemplo 5 del capítulo 4, aunque también es válido seleccionar el tamaño que nos arroja el programa de 1 1/8, ahora en la casilla *Diámetro del tornillo* seleccionaremos el de una pulgada que es el tamaño que nos arroja como recomendado (ver Figura 5.29).

Al pulsar sobre el botón *soldadura*, el programa vuelve a calcular de manera interna si los valores introducidos en las casillas anteriores son correctos al igual los estados límites de los tornillos, la placa y la viga, de no serlo nos enviara ventanas de información donde nos mostrara los valores calculados, en donde está el error y la posible solución, si los valores son correctos nos enviara en pantalla el tamaño de soldadura mínima a emplear en la unión del alma de la viga con la placa de extremo.

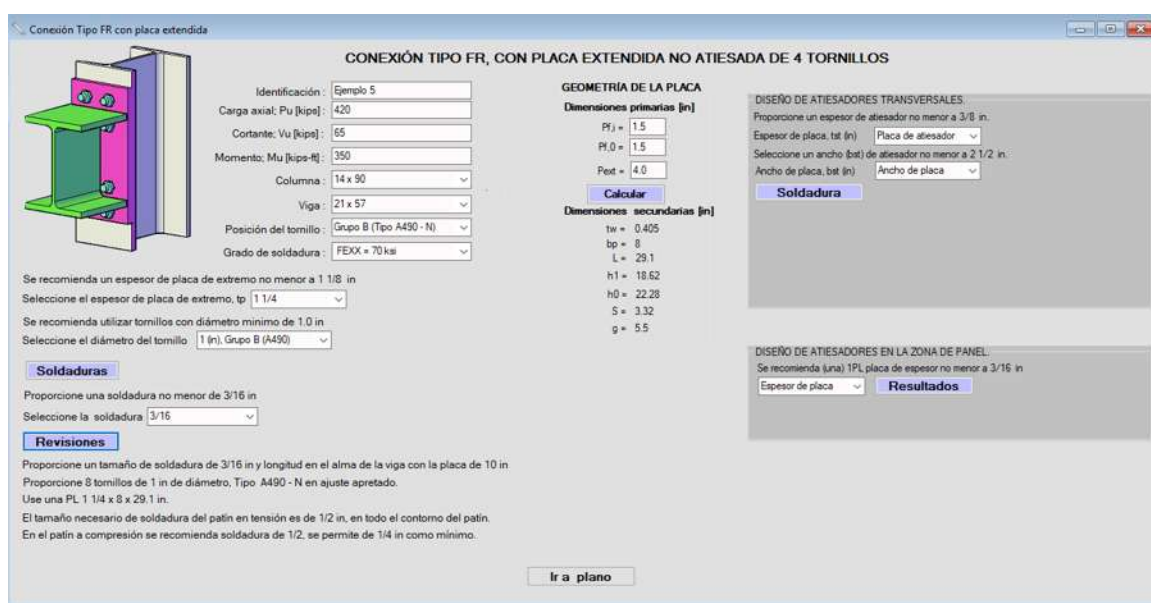
Realizado lo anterior seleccionaremos el tamaño de 3/16 en la casilla *Tamaño de soldadura* y daremos clic en el botón *Revisiones* aquí el programa calculara los estados límites de resistencia de la columna, si no se cumplen nos mandara de igual manera las ventanas de información para el cálculo de los atiesadores horizontales y en la zona de panel si se requieren. Para este ejercicio se tendrán que diseñar los atiesadores (ver Figura 5.30a y b).



a)



b)



c)

Figura 5. 30 Diseño de atiesadores.

Se activarán las secciones de *Diseño de atiesadores transversales* y *Diseño de atiesadores en la zona de panel* como se observa en la Figura 5.30c en la parte derecha y debajo del botón *Revisiones* nos mostrar las dimensiones de la soldadura a utilizar para la unión del alma de la viga y la placa de extremo, el número de tornillos y su configuración, así como la soldadura en la unión de los patines de la viga y la placa de extremo. El diseño de los atiesadores es igual al ejemplo

5.3.4, seleccionamos de las casillas los datos propuestos por el programa, daremos clic en los botones que se visualizan y si los datos son correctos nos mostrara las ventanas de información donde dirá que se pueden imprimir los resultados, en otro caso, tenemos que aumentar las medidas de los atiesadores hasta que cumplan con las resistencias necesarias para que soporten la carga axial de la viga aplicada en la zona de panel (ver Figura 5.31).

CONEXIÓN TIPO FR, CON PLACA EXTENDIDA NO ATIESADA DE 4 TORNILLOS

Identificación: Ejemplo 5

Carga axial: P_u [kips]: 420

Cortante: V_u [kips]: 65

Momento: M_u [kips-ft]: 350

Columna: 14 x 90

Viga: 21 x 57

Posición del tornillo: Grupo B (Tipo A490 - N)

Grado de soldadura: FEXX = 70 ksi

Se recomienda un espesor de placa de extremo no menor a 1 1/8 in.

Seleccione el espesor de placa de extremo, tp: 1 1/4

Se recomienda utilizar tornillos con diámetro mínimo de 1.0 in.

Seleccione el diámetro del tornillo: 1 in, Grupo B (A490)

Soldaduras

Proporcione una soldadura no menor de 3/16 in.

Seleccione la soldadura: 3/16

Revisión

Proporcione un tamaño de soldadura de 3/16 in y longitud en el alma de la viga con la placa de 10 in.

Proporcione 8 tornillos de 1 in de diámetro, Tipo A490 - N en ajuste apretado.

Use una PL 1 1/4 x 8 x 29.1 in.

El tamaño necesario de soldadura del patín en tensión es de 1/2 in, en todo el contorno del patín.

En el patín a compresión se recomienda soldadura de 1/2, se permite de 1/4 in como mínimo.

GEOMETRÍA DE LA PLACA

Dimensiones primarias [in]

$Pf_1 = 1.5$

$Pf_0 = 1.5$

$P_{ext} = 4.0$

Calcular

Dimensiones secundarias [in]

$tw = 0.405$

$bp = 8$

$L = 29.1$

$h_1 = 18.62$

$h_0 = 22.28$

$S = 3.32$

$g = 5.5$

DISEÑO DE ATIESADORES TRANSVERSALES

Proporcione un espesor de atiesador no menor a 3/8 in.

Espesor de placa, ttt [in]: 3/8

Seleccione un ancho (bat) de atiesador no menor a 2 1/2 in.

Ancho de placa, bat [in]: 2 1/2

Soldadura

Proporcione un tamaño de soldadura entre 1/4 y 1/2 in.

Tamaño de soldadura: 1/4

Resultados

Use 4PL 3/8 x 2.5 x 12.58 in y tamaño de soldadura de 1/4 in en ambos lados de las placas de atiesadores o placas de continuidad.

DISEÑO DE ATIESADORES EN LA ZONA DE PANEL

Se recomienda (una) 1PL placa de espesor no menor a 3/16 in.

1/4 **Resultados**

Use (una) 1PL 1/4 x 11.4 x 20.2 in, en el alma de la columna (zona de panel).

El tamaño de soldadura necesaria es 3/16 in.

Resultados, Zona de panel

Los datos son CORRECTOS para los atiesadores en el alma de la columna (Zona de panel). Se pueden imprimir los resultados.

Imprimir **Ir a plano** **Nuevo cálculo** **Aceptar**

Figura 5. 31 Resultados de la conexión de momento con placa extendida.

Comparación de los resultados

A continuación, se presenta la Tabla 5.7 de los resultados del ejemplo 5, derivados de los cálculos realizados a mano en el capítulo 4 y los resultados que arroja el programa DISCON, el resumen se presenta a continuación.

Tabla 5. 7 Comparación de resultados de la conexión del ejemplo 5 a momento con placa extendida.

	Diseño manual	Diseño con el programa DISCON
Placa de extremo	1 $\frac{1}{4}$ x 8 x 29.1 in	1 $\frac{1}{4}$ x 8 x 29.1 in
Diámetro de los tornillos	1 in	1 in
Soldadura a utilizar en la placa con el alma de la viga y longitud.	$\frac{3}{16}$ y 10 in	$\frac{3}{16}$ y 10 in
Soldadura a utilizar en los patines con la placa de extremo.	$\frac{1}{2}$ in	$\frac{1}{2}$ in
Atiesadores transversales	4PL $\frac{3}{8}$ x 2 $\frac{1}{2}$ x 12.6 in	4PL $\frac{3}{8}$ x 2 $\frac{1}{2}$ x 12.58 in
Soldadura en los atiesadores transversales	$\frac{1}{4}$ in	$\frac{1}{4}$ in
Atiesadores en la zona de panel	1 PL de $\frac{1}{4}$ x 11.39 x 20 in	1 PL de $\frac{1}{4}$ x 11.4 x 20.2 in
Soldadura en el atiesador de la zona de panel	$\frac{3}{16}$ in	$\frac{3}{16}$ in

Existe una diferencia en el redondeo de los decimales entre el resultado manual y con el programa en las medidas de las placas atiesadoras, esto debido a la aproximación de los mismos.

Este ejercicio se realizó para que los resultados coincidieran con el ejercicio 5 del capítulo 4, si en el diseño seleccionamos el espesor de 1 $\frac{1}{8}$ in en la casilla *Placa* y realizamos los pasos de cálculo, al final nos muestra medidas de espesor del atiesador en la zona de panel de $\frac{3}{16}$ y de la placa de extremo de 1 $\frac{1}{8}$ de pulgada, sin embargo, ambas soluciones son correctas.

Conclusiones

El software DISCON creado en este proyecto de tesis, es muy fácil de utilizar, debido a que los datos de entrada son muy pocos, contando con bases de datos internos para la selección de valores dentro de los pasos de diseño de las conexiones. Las subrutinas para cada conexión fueron revisadas de manera manual, esto es, cada rutina de las conexiones se realizó con las especificaciones del AISC y las guías de diseño 4 y 13 por el método LRFD con estas mismas se realizó el código fuente del software, dando resultado adecuados para su uso en el aula de clases en condiciones reales de las conexiones abordadas.

El programa DISCON se creó como una herramienta educativa y de introducción a software's de diseño de conexiones de acero para los alumnos de la Facultad de Ingeniería Civil de la UMSNH el cual podrá usarse en proyectos reales bajo la responsabilidad del usuario.

En la actualidad las empresas dedicadas a la construcción civil en general, piden conocimientos en manejo de software dependiendo de la finalidad o servicio que presta la empresa, existen muchas formas de aprender el funcionamiento de estos, sin embargo, la teoría es el principal fundamento para conocer si es correcto o no lo que se realiza con el software. Cuando no se conoce la teoría se pueden llegar a diseños deficientes o sobre valorados lo cual impactara de manera negativa la finalidad del proyecto en el que se trabaje. Para utilizar cualquier programa de computadora, se deberá primero aprender sus métodos de entrada, rutinas, subrutinas, salidas, etc., atendiendo a lo anterior se creó el software DISCON, de tal forma que el usuario sea guiado por el programa en cada paso del diseño de las conexiones tratadas, pero también se necesita que el usuario tenga el conocimiento teórico y práctico básico de las mismas, para poder aprobar o no el diseño realizado con este software.

Los diseños de las conexiones presentadas en los capítulos anteriores se realizaron en el software RAM Connection para su verificación, observando que los resultados son prácticamente los mismo que nos arroja DISCON, variando en decimales, sin embargo se pudo comprobar que los programas especializados en diseño o análisis de conexiones de acero tienen muchas subrutinas que facilitan los cálculos, sin embargo el usuario deberá de realizar de manera iterativa la entrada de algunos valores como el diámetro de los tornillos, espesor de las placas, soldadura, numero de tornillos, etc., el software DISCON, al ir evaluando los valores de entrada de igual forma nos brinda un rango de valores para el paso siguiente, que se puede utilizar de acuerdo a

los valores anteriores seleccionados y en dado caso que no se cumplan se despliegan ventanas de información en las cuales nos dirá en donde esta y como solucionar el error presentado.

Se comprobó que en la actualidad un software realiza los cálculos en un tiempo relativamente corto comparado si se realizaran de manera manual, con una aproximación en resultados casi despreciables.

Anexo

Al terminar el diseño de la conexión tratada en cada sección y dar clic en el botón inferior *Imprimir* visualizaremos una ventana en el cual observamos los datos y resultados del cálculo, aquí podemos solo visualizar, guardar en formato PDF, o si se requiere podemos imprimir. Si damos clic en el botón *Ir a plano* nos mostrara en pantalla el plano de la conexión, en esta nueva ventana se dará clic en el botón *Imprimir plano* el cual realizado esta acción mostrara un cuadro de dialogo en donde podemos visualizar, guardar en formato PDF o imprimir el plano, los formatos que se visualizara en las pantallas son los siguientes.

Resultados y plano del ejemplo 5.3.1

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DISCON, Software para Diseño de Conexiones de Acero
Versión 1.0
~~ Conexión de cortante, con placa de extremo ~~

Identificación: Ejemplo 1

1) DATOS PARA EL CALCULO

Cortante; $V_u = 150$ kips
Viga = W21 x 57
Columna = W12 x 58
Acero de perfiles ASTM - A992
Acero de la placa ASTM - A36
Tornillos de tipo A325 - N
Grado de soldadura FEXX = 70 ksi

2) GEOMETRIA DE LA PLACA

Utilice una placa PL 5/16 x 8 x 17.5 in, Con medidas al extremo de: $L_{ev} = 1.25$; $L_{eh} = 1.25$ in

3) GEOMETRIA DE LA SOLDADURA

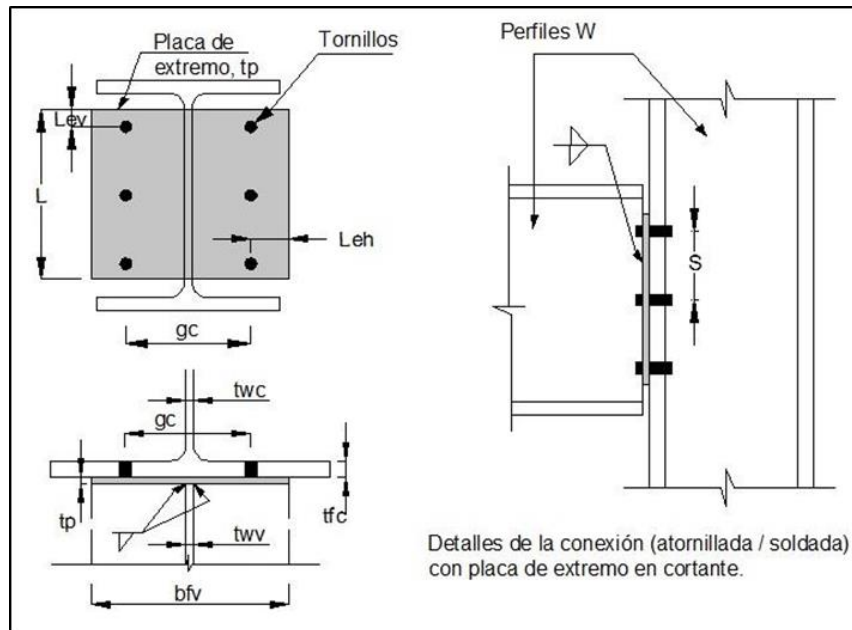
Use soldadura FEXX = 70 ksi de tamaño in, a lo largo de la longitud $L_s = 17$ in, (ambos lados de la placa con el alma de la viga)

4) TORNILLOS

Proporcione 12 tornillos en dos filas verticales, de tipo A325 - N de 7/8 in de diámetro, en agujeros STD, con un gramil (g) de 5.5 in, paso (S) de 3.0 in

Hora: 21:16:10

Fecha: 08-29-2018



Resultados y plano del ejemplo 5.3.2

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DISCON, Software para Diseño de Conexiones de Acero
Versión 1.0

~~ Conexión de Cortante, con Placa Sencilla ~~

Identificación: Ejemplo 2

1) DATOS PARA EL CALCULO

Cortante; $V_u = 49.6$ kips

Viga = W16 x 50

Columna = W14 x 90

Acero de perfiles ASTM - A992

Acero de la placa ASTM - A36

Tornillos de tipo A325 - N

Grado de la soldadura FEXX = 70 ksi

$Lev = 1.25$ in

$S = 3.0$ in

$Leh = 1.5$ in

$a = 3.0$ in

2) PLACA

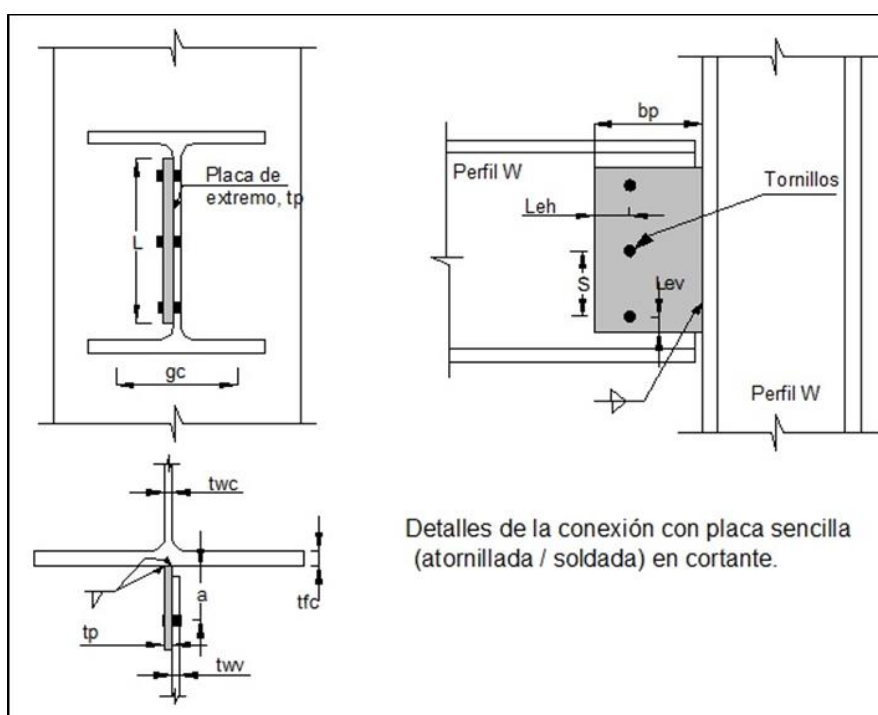
Proporcione una PL $1/4 \times 4.5 \times 11.5$ in y suéldela al patín de la columna, en ambos lados use soldaduras de filete de $3/16$ in con una longitud efectiva de 11.12 in

3) TORNILLOS

Use 4 tornillos Tipo A325 - N de 3/4 in de diámetro, en agujeros estándar, para conectar la viga a la placa de cortante.

Hora: 21:19:33

Fecha : 08-29-2018



Resultados y plano del ejemplo 5.3.3

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DISCON, Software para Diseño de Conexiones de Acero
Versión 1.0
~~ Conexión De Cortante, de Asiento Atiesado. ~~

Identificación: Ejemplo 3

1) DATOS PARA EL CALCULO

Cortante; $V_u = 125$ kips

Viga = W21 x 68

Columna = W14 x 90

Acero de perfiles ASTM - A992

Acero de placas A-36

Tipo de soldadura = E70

$N = 6.25$ in

$W = 7$ in

$L = 15$ in

2) SOLDADURAS

Use soldadura horizontal de 3 in de 5/16 in, en ambos lados de la placa atiesadora para la placa de asiento al alma de la columna.

Use soldadura vertical de 15 in de 5/16 in, en ambos lados de la placa atiesadora al alma de la columna.

3) PLACAS

Use una PL 3/8 x 7 x 8 in, para la placa de asiento y 2 tornillos A325-N de 3/4 in de diámetro con un gramil de 5.5 in para el montaje.

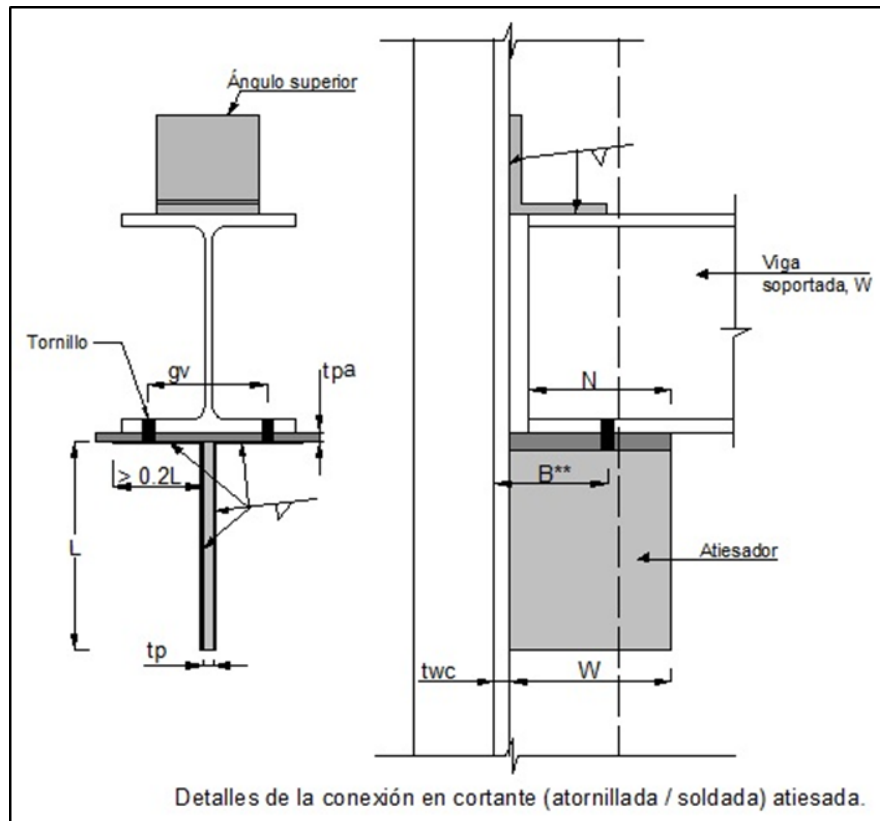
Use una PL 5/8 x 7 x 15 in, para la placa de atiesador

4) ÁNGULO

Use L4 x 4 x 1/4 in para la estabilidad de la viga, con soldadura de filete de 1/8 in a lo largo de la base del ángulo al alma de la columna y patín de la viga.

Hora: 20:41:25

Fecha : 08-29-2018



Resultados y plano del ejemplo 5.3.4

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DISCON, Software para Diseño de Conexiones de Acero
Versión 1.0

~~ Conexión Tipo FR, con Placas de Patín ~~

Identificación: Ejemplo 4

1) DATOS PARA EL CALCULO

Carga axial; $P_u = 300$ kips

Cortante; $V_u = 52$ kips

Momento; $M_u = 250$ kips-ft

Viga= W18 x 50

Columna= W14 x 53

Acero de perfiles ASTM - A992

Acero de placas ASTM - A36

Tornillos de tipo A325 - N

Grado de soldadura FEXX = 70 ksi

1.1) DATOS DE LA PLACA DE CORTANTE

Lev1 = 1.5 in
S1 = 3.0 in
Leh1 = 2.0 in
a1 = 3.0 in

1.2) DATOS DE LAS PLACAS DE PATÍN

Lev = 1.5 in
S = 3.0 in
Leh = 1.5 in
a = 2.0 in

2) DISEÑO DE LA PLACA DE CORTANTE

Utilice una PL 3/8 x 5 x 9 in con 3 tornillos de 7/8 in, en una línea vertical, Grupo A (Tipo A325 - N)

2.1) Diseño de la soldadura de filete

Proporcione una soldadura de filete de 1/4 in, en ambos lados para el soporte (unión del patín de la columna y placa).

3) DISEÑO DE LA PLACA DE PATIN SUPERIOR

Se requieren de 8 tornillos para resistir la carga debido al momento de 250 kips-ft para lo cual proporcione dos filas de tornillos de 4 cada una, con un gramil $g = 3.5$, La primera fila de tornillos se coloca a una distancia $a = 2.0$ in, lo que permite una holgura de borde $s_b = 0.5$ y $e_f = 1.5$ in, entre el centro del agujero y el borde del patín

3.1) Dimensiones de la placa

Use una PL 7/8 x 6.5 x 12.5 in con 8 tornillos, en dos filas horizontales

3.2) Diseño de la soldadura

Proporcione un tamaño de 3/8 in, de soldadura de filete, en ambos lados de la placa con una longitud de 6.5 in.

4) DISEÑO DE LA PLACA DE PATÍN INFERIOR

La placa de patín en compresión será idéntica a la placa de patín en tensión, con 8 tornillos, colocados en dos filas horizontales con 4 cada una, con un gramil $g = 3.5$ in Proporcione un tamaño de 3/8 in, de soldadura de filete, en ambos lados de la placa de patín.

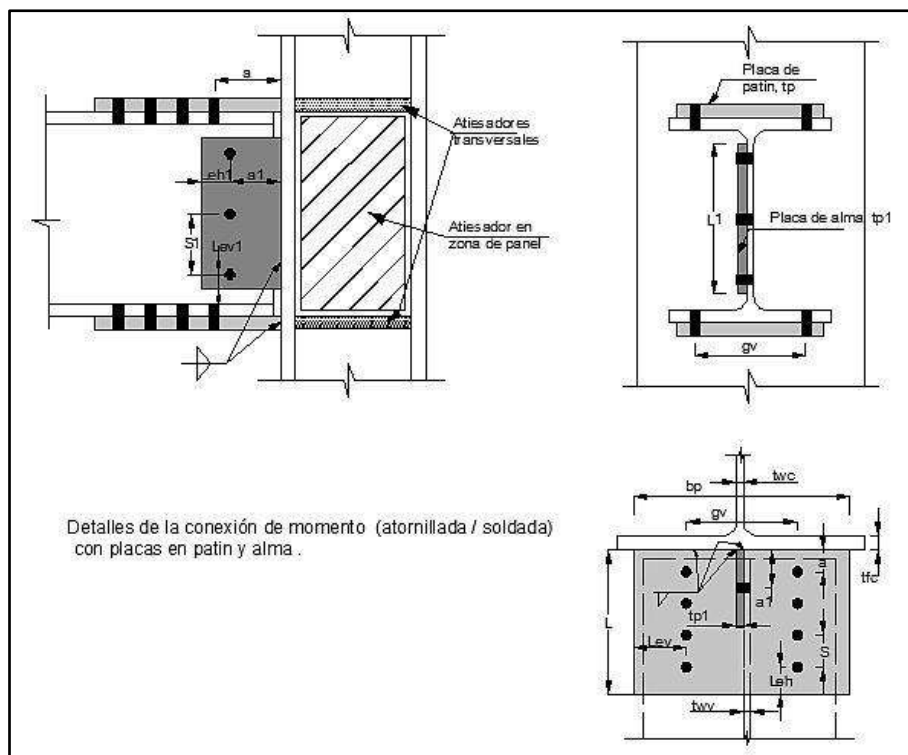
5) DISEÑO DE ATIESADORES

Use 4PL 1/2 x 2 x 12.58 in y tamaño de soldadura 1/4 in en ambos lados de las placas de atiesadores o placas de continuidad.

Use (una) 1PL 3/16 x 11.43 x 17.24 in, en la zona de panel El tamaño de soldadura es 1/8 in en todo el contorno de la placa atiesadora

Hora : 20:55:59

Fecha : 08-29-2018



Resultados y plano del ejemplo 5.3.5

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
DISCON, Software para Diseño de Conexiones de Acero
Versión 1.0

~~ Conexión Tipo FR, con Placa Extendida no Atiesada de 4 Tornillos ~~

Identificación: Ejemplo 5

1) DATOS PARA EL CALCULO

Carga axial; $P_u = 420$ kips

Cortante; $V_u = 65$ kips

Momento; $M_u = 350$ kips-ft

Viga= W21 x 57

Columna= W14 x 90

Acero de perfiles ASTM - A992

Acero de placa ASTM - A36

Tornillos de tipo A490 - N

Grado de soldadura FEXX = 70 ksi

2) GEOMETRIA DE LA PLACA

2.1) Dimensiones primarias

Pf,i= 1.5 in
Pf,0= 1.5 in
Pext= 4.0 in

2.2) Dimensiones secundarias

tw, viga= 0.405 in
bp= 8 in
h0= 22.28 in
h1= 18.62 in
S= 3.32 in
g= 5.5 in

3) DATOS CALCULADOS

Proporcione 8 tornillos de 1 in de diámetro, tipo A490 - N en ajuste apretado.

Use una placa de extremo extendida PL 1 1/4 x 8 x 29.1 in.

La soldadura de filete en al alma de la viga en ambos lados será de tamaño 3/16 in con longitud 10 in, (Se recomienda realizar la línea en todo el peralte de la viga).

Para la soldadura de filete en el patín a tensión se utilizará de 1/2 in, (en todo el contorno del patin).

Para el patín a compresión se recomienda el mismo tamaño de 1/2 in, (Se permite la utilización de 1/4 in como mínimo).

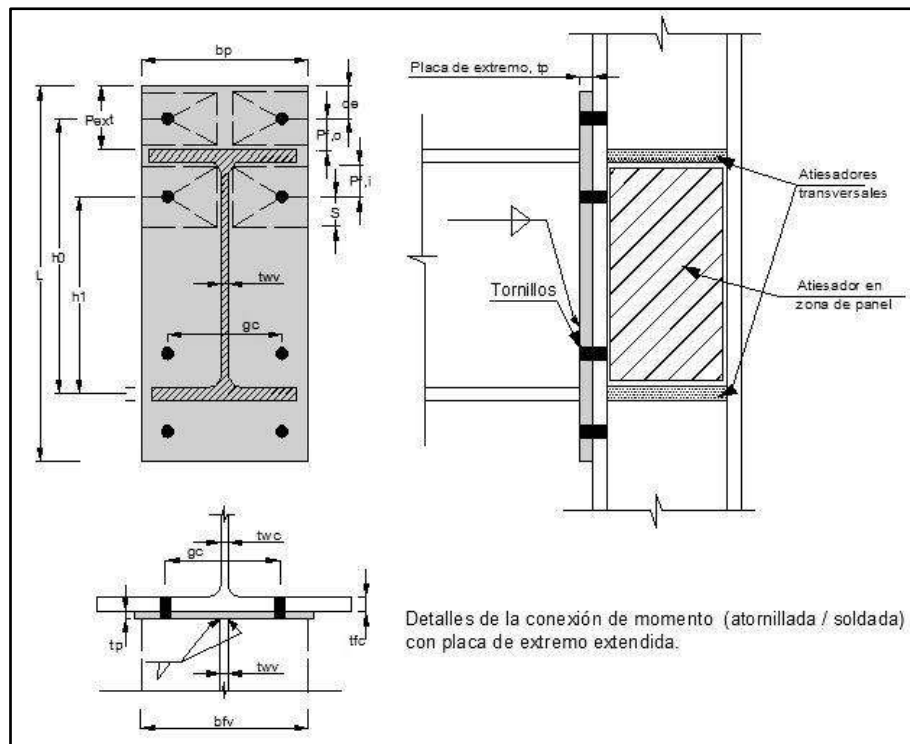
4) DISEÑO DE ATIESADORES

Use 4PL 3/8 x 2.5 x 12.58 in y tamaño de soldadura de 1/4 in en ambos lados de las placas de atiesadores o placas de continuidad.

Use (una) 1PL 1/4 x 11.4 x 20.2 in, en el alma de la columna (zona de panel) El tamaño de soldadura necesaria es 3/16 in

Hora: 21:10:48

Fecha : 08-29-2018



Referencias bibliográficas

Acuña, T. & Sotelo O. (2014). *Software libre para el diseño de conexiones metálicas de acuerdo con la NSR-10*. (Licenciatura). Facultad de ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana. Bogota, Colombia.

AHMSA. (2013). *Manual de Diseño para la Construcción con Acero AHMSA*.

American Institute of Steel Construction. (2010), *Manual of Steel Construction Load & Resistance Factor Design*.

Cardoso, L. & Quishpe E. (2014). *Diseño de conexiones precalificadas bajo AISC para pórticos resistentes a momentos*. (Licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Carter, C. J. (1999) *Stiffening of Wide-Flange columns at Moment Connections: Wind and Seismic applications, Steel Design Guide Series, Num. 13*, AISC, Chicago, IL.

Clavijo, F. (2016). *Desarrollo de software para diseño de conexiones en estructuras de acero bajo las especificaciones del AISC*. (Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Eiffel (n.d.). Extraída el 3/VII/2018 desde
http://obviousmag.org/archives/uploads/2009/09033001_blog.uncovering.org_eiffel.jpg

FEMA–350, 2000. *Recommended Seismic Desing Criteria for New Steel Moment-Frame Buldings*.

Francisco, J.. (2008) *Visual Basic .NET. Curso de programación*. México.

Francisco, J. (2018). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero*.

Gaceta oficial de la ciudad de México. (2017). *Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal (NTC-2017)*.

Hoszpodar, V.(2014, julio 30). “Forja”. Extraída el 3/VII/2018 desde
<http://forjafiatvoluntastua.blogspot.com/2014/07/la-expresion-hierro-forjado-comprende.html>

Jack, C. & Stephen, F. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*. México, DF.

Murray, T.M. y Sumner E. A. (2003) *Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications, Steel Design Guide Series, Num. 4*, Second Edition, AISC.

Peternell. L. (2005). *Programa para el diseño de conexiones viga - columna en elementos de acero de sección "I" mediante el método de resistencia última LRFD*. (Licenciatura). Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla.

Sriramulu, V. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*, México.

Sriramulu, V. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*, México. Web Chapter 13 www.mhhe.com/Vinnakota

Vázquez, I. (2008, marzo 27). "Curso de Alto Nivel de Diseño de Conexiones Estructurales Típicas de Edificios de Acero". Extraída el 3/VII/2018 desde <http://vamsa.biz/imgweb/Morelia0308b.pdf>